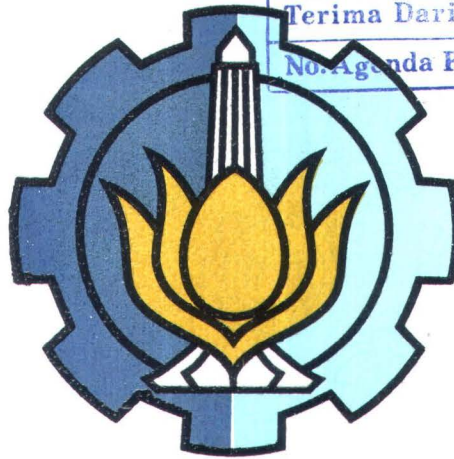


16.186/H/02

TUGAS AKHIR
(OE 1701)

**PENGARUH MEDIA PENDINGIN PASCA PERLAKUAN
PANAS PADA HASIL PENGELASAN
BAJA AISI 1015**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	3-7-2000
Terima Dari	H.
No. Agenda Prp.	21.615



RSKe
620.112 23
Jde
P-1
1999

Disusun Oleh :

JOKO TRIYANTO
NRP. 4393100025

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

1999



**PENGARUH MEDIA PENDINGIN PASCA PERLAKUAN
PANAS PADA HASIL PENGELASAN
BAJA AISI 1015**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kelautan
Pada Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya**

**Telah Direvisi Sesuai Berita Acara Ujian Tugas Akhir
Tanggal 15 Februari 1999**

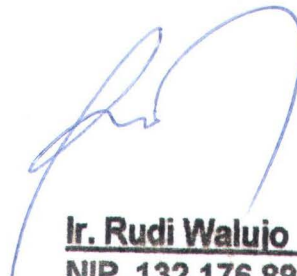
Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing I,



Ir. Heri Supomo., M.Sc.
NIP. 131 842 506

Pembimbing II,



Ir. Rudi Walujo P.
NIP. 132 176 893

**Ketua Jurusan
Teknik Kelautan**



Dr. Eko B. Diatmiko
NIP. 131 407 592

Bacalah dengan menyebut nama Tuhanmu yang menciptakan

(Q S. Al ' Alaq : 1)

Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya

(Q S. Al ' Alaq : 5)

Allah meninggikan orang - orang yang beriman diantaramu dan orang - orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat dan Allah mengetahui apa yang kamu kerjakan.

(Q.S. 58 - 11)

ABSTRAK

Telah dilakukan proses pengelasan pada baja AISI 1015 yang mempunyai komposisi $C = 0.15 \%$, $Mn = 0.35 \%$, $P = 0.04 \%$, $S = 0.05 \%$, $Fe = 98.93 \%$ dengan menggunakan las busur SMAW, kemudian untuk menghilangkan tegangan sisa yang terjadi dan guna memperbaiki sifat mekanik dari baja diberi perlakuan panas sampai $500^{\circ}C$ selama 30 menit dan didinginkan dengan tiga parameter jenis media pendingin, yaitu udara, oli dan air, selanjutnya dilakukan uji sifat mekanis (uji tarik, uji bending, uji kekerasan), dan uji laju korosi.

Berdasarkan hasil rata - rata uji tarik, untuk media pendingin udara, kekuatan tarik **46.48 kg/mm²**, kekuatan luluh **32.21 kg/mm²**, dan regangannya **25.77 %**, untuk media pendingin oli, kekuatan tarik **48.66 kg/mm²**, kekuatan luluh **33.98 kg/mm²**, regangannya **22.53 %**, untuk media pendingin air, kekuatan tarik **50.15 kg/mm²**, kekuatan luluh **38.19 %**, regangannya **20.63 %**.. Pada hasil uji kekerasan rata - rata untuk media pendingin udara kekerasan yang tertinggi adalah **131 HV** dan yang terendah **120 HV**, sedangkan untuk media pendingin oli kekerasan yang tertinggi **132.33 HV** dan terendah **122 HV**, untuk media pendingin air didapatkan kekerasan yang tertinggi **134.67 HV** dan yang terendah **124 HV**. Pada pengujian laju korosi untuk media pendingin udara **21.0185 Mpy**, untuk media pendingin oli laju korosi **19.83 Mpy**, serta untuk media pendingin air laju korosinya **17.07 Mpy**. Pada hasil pengujian bending untuk media pendingin air, oli maupun udara menunjukkan hasil yang baik yaitu dengan tidak diketemukan cacat keretakan.

Berdasarkan hasil di atas dapat diketahui bahwa media pendingin air relatif lebih baik dari pada media pendingin udara maupun oli.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa dan atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **PENGARUH MEDIA PENDINGIN PASCA PERLAKUAN PANAS PADA HASIL PENGELASAN BAJA AISI 1015**.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh jenis media pendingin terhadap mutu hasil las baja AISI 1015 yang telah diberi perlakuan panas, ditinjau dari kekuatan tarik, kekuatan luluh, regangan, kekerasan dan laju korosinya. Adapun hasilnya diharapkan akan berguna bagi perkembangan teknologi pengelasan dan pemilihan material.

Dalam menyusun Tugas Akhir ini penulis tidak akan berhasil tanpa dorongan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan rasa hormat serta ucapan terima kasih kepada

1. Bapak Ir. Heri Supomo MSc, selaku pembimbing pertama penulis yang telah memberikan pengarahan serta meluangkan waktu bagi penulis untuk berkonsultasi.

2. Bapak Ir. Rudi Walujo P, selaku pembimbing kedua penulis yang telah memberikan pengarahan serta meluangkan waktu bagi penulis untuk berkonsultasi.

3. Bapak Dr. E.B. Djatmiko selaku ketua Jurusan Teknik Kelautan.

4. PT. PAL INDONESIA yang telah memberikan material uji dan mengizinkan penulis untuk studi literatur di perpustakaan Direktorat Teknologi PT. PAL.

5. Ir. Paulus Andrianto Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS.

6. Bapak Ir. Heri Supomo Msc, selaku Kepala Work Shop Fakultas Teknologi Kelautan ITS.

7. Drs. Djoko Hartanto, Msi selaku Ketua Jurusan Kimia MIPA ITS yang telah mengizinkan penulis melakukan pengujian di Laboratorium Kimia MIPA ITS.

8. Drs. Eko Santoso, Msi selaku Kepala Laboratorium Kimia MIPA ITS yang telah mengijinkan penulis melakukan pengujian di Laboratorium Kimia MIPA ITS.
9. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada kami.
10. Kawan- kawan diskusi serta kepada HIMATEKLA juga kepada pihak-pihak yang tak mungkin penulis sebutkan satu - persatu dalam tugas akhir ini.

Akhirnya tiada gading yang tak retak, demikian pula tugas akhir ini, tentunya masih jauh dari sempurna. Penulis mengucapkan terima kasih banyak dan penghargaan atas saran dan kritik para pembaca. Harapan penulis semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca terutama mahasiswa Teknik Kelautan ITS.

Surabaya,1999

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan dan manfaat	2
1.4 Sistematika penulisan	2
1.5 Batasan masalah	4
1.6 Metodologi	4
BAB II DASAR TEORI	6
2.1 Terjadinya tegangan sisa	7
2.2 Pengaruh tegangan sisa	9
2.3 Baja carbon	17
2.4 Las busur listrik elektrode terbungkus	21
2.5 Korosi	41
BAB III PROSEDUR PENELITIAN	53
3.1 Diagram prosedur penelitian	53

3.2	Material dasar -----	54
3.3	Persiapan benda uji -----	55
3.4	Uji radiografi cacat las	55
3.5	Pelaksanaan proses perlakuan panas -----	58
3.6	Uji tarik -----	59
3.7	Uji kekerasan-----	61
3.8	Uji bending -----	63
3.9	Uji laju korosi -----	65
BAB IV	HASIL EXSPERIMEN -----	68
4.1	Hasil pengujian cacat las -----	68
4.2	Hasil uji tarik -----	68
4.3	Hasil uji bending -----	69
4.4	Hasil uji kekerasan -----	69
4.5	Hasil uji korosi -----	70
BAB V	PEMBAHASAN -----	71
5.1	Metode analisa data -----	71
5.2	Pembahasan hasil uji tarik -----	73
5.3	Pembahasan hasil uji bending -----	80
5.3	Pembahasan hasil uji kekerasan -----	80
5.4	Pembahasan hasil uji korosi -----	89
BAB VI	KESIMPULAN -----	96
DAFTAR PUSTAKA	-----	x
Lampiran	-----	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar	2.1	: Tegangan sisa karena penahanan dalam -----	6
Gambar	2.2	: Tegangan sisa karena penahanan luar-----	7
Gambar	2.3	: Terjadinya tegangan sisa -----	8
Gambar	2.4	: Batang uji -----	10
Gambar	2.5	: Pengaruh peregangan pada tegangan sisa -----	10
Gambar	2.6	: Kurva tegangan - regangan pada sambungan las dan daerah sekitarnya -----	10
Gambar	2.7	: Pengaruh tegangan sisa pada tegangan patah dari pelat uji dengan takikan -----	11
Gambar	2.8	: Pelat uji dengan takikan -----	11
Gambar	2.9	: Pengaruh tegangan sisa terhadap kekuatan tekuk pelat -----	12
Gambar	2.10	: Pengaruh tegangan sisa pada kekuatan fatik -----	13
Gambar	2.11	: Urutan pengelasan -----	12
Gambar	2.12	: Diagram fasa Fe - Fe ₃ C -----	18
Gambar	2.13	: Diagram transformasi isothermal martensitik -----	20
Gambar	2.14	: Peralatan pokok las SMAW -----	22
Gambar	2.15	: DCSP -----	24
Gambar	2.16	: DCRP -----	25
Gambar	2.17	: Penetrasi DCSP - DCRP -----	25
Gambar	2.18	: Karakteristik statik Volt Ampere -----	26
Gambar	2.19	: Las busur dengan elektrode terbungkus -----	28
Gambar	2.20	: Pemindahan logam cair -----	28
Gambar	2.21	: Sudut elektrode pada las tumpul -----	38
Gambar	2.22	: Sudut elektrode pada las lurus -----	38
Gambar	2.23	: Gerakan ayunan elektrode -----	40
Gambar	2.24	: Cara menyalakan busur -----	40

Gambar	2.25	: Pemadaman busur -----	40
Gambar	2.26	: Pemadaman pada kawah -----	41
Gambar	2.27	: Cara penyalan busur pada pengelasan lanjutan -----	41
Gambar	2.28	: Pembentukan karat -----	42
Gambar	2.29	: Perbedaan potensial Fe dan H_2 -----	49
Gambar	2.30	: Pengukuran rapat arus -----	50
Gambar	2.31	: Kurva rapat arus dan beda potensial -----	51
Gambar	3.1	: Diagram prosedur penelitian -----	54
Gambar	3.2	: Susunan alat dalam pengujian sinar-X -----	57
Gambar	3.3	: Standar benda uji ASTM E 8 -----	61
Gambar	3.4	: Indentor uji kekerasan vickers -----	63
Gambar	3.5	: Standar benda uji ASTM E 190 - 180 -----	64
Gambar	3.6	: Guided bend test -----	65
Gambar	3.7	: Pengukuran laju korosi -----	67
Gambar	4.1	: Grafik hasil uji tarik media pendingin udara -----	105
Gambar	4.2	: Grafik regangan untuk media pendingin udara -----	106
Gambar	4.3	: Grafik hasil uji tarik untuk media pendingin oli -----	108
Gambar	4.4	: Grafik regangan untuk media pendingin oli -----	109
Gambar	4.5	: Grafik hasil uji tarik media pendingin air -----	111
Gambar	4.6	: Grafik regangan untuk media pendingin air -----	112
Gambar	4.7	: Grafik hasil uji kekerasan media pendingin udara -----	114
Gambar	4.8	: Grafik hasil uji kekerasan media pendingin oli -----	116
Gambar	4.9	: Grafik hasil uji kekerasan media pendingin air -----	118
Gambar	4.10	: Grafik pengurangan berat media pendingin udara -----	120
Gambar	4.11	: Grafik laju korosi media pendingin udara -----	121
Gambar	4.12	: Grafik pengurangan berat media pendingin oli -----	123
Gambar	4.13	: Grafik laju korosi media pendingin oli -----	124
Gambar	4.14	: Grafik pengurangan berat media pendingin air -----	126
Gambar	4.15	: Grafik laju korosi media pendingin air -----	127
Gambar	5.1	: Grafik hasil uji tarik rata-rata -----	74
Gambar	5.2	: Diagram pendinginan continue untuk karbon -----	78

Gambar	5.3	: Struktur mikro baja karbon -----	78
Gambar	5.4	: Grafik regangan rata-rata -----	79
Gambar	5.5	: Grafik hasil uji kekerasan rata-rata -----	81
Gambar	5.6	: Grafik pengurangan berat dari plat baja AISI 1015 -----	92
Gambar	5.7	: Grafik hasil uji korosi rata-rata -----	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Cara pengurangan dan pembebasan tegangan sisa -----	16
Tabel 2.2	: Spesifikasi baja standard AISI -----	17
Tabel 2.3	: Macam dan fungsi bahan fluks -----	30
Tabel 2.4	: Spesifikasi elektrode terbungkus dari baja lunak JIS Z 3211 - 1978 -----	33
Tabel 2.5	: Spesifikasi elektrode terbungkus dari baja lunak AWS A5.1 - 64T -----	34
Tabel 2.6	: Urutan deposit -----	35
Tabel 2.7	: Dasar - dasar gerakan elektrode -----	39
Tabel 3.1	: Hasil uji tarik media pendingin udara -----	104
Tabel 3.2	: Hasil uji tarik media pendingin oli -----	107
Tabel 3.3	: Hasil uji tarik media pendingin air -----	110
Tabel 3.4	: Hasil uji kekerasan media pendingin udara -----	113
Tabel 3.5	: Hasil uji tarik media pendingin oli -----	115
Tabel 3.6	: Hasil uji tarik media pendingin air -----	117
Tabel 3.7	: Hasil uji korosi pada daerah las dan HAZ untuk media pendingin udara -----	119
Tabel 3.8	: Hasil uji korosi pada daerah las dan HAZ untuk media pendingin oli -----	122
Tabel 3.9	: Hasil uji korosi pada daerah las dan HAZ untuk media pendingin air -----	125
Tabel 3.10	: Tabel Distribusi normal -----	128

DAFTAR NOTASI

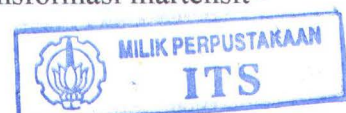
A	= Luas
A1	= Sampel ke-1 untuk benda uji dengan media pendingin Air
CR	= Laju korosi
d	= Diagonal
E	= Modulus elastisitas
E	= Error
EW	= Equivalen Weight
F	= Beban
HVN	= Angka kekerasan Vickers
I_{corr}	= Corrosion current density
K_1	= Konstanta
l	= Panjang
MPM	= Milimeter per month
MPY	= Miliinch per year
n	= Jumlah data
O1	= Sampel ke-1 untuk benda uji dengan media pendingin oli
t	= Waktu
U1	= Sampel ke-1 untuk benda uji dengan media pendingin udara
W	= Kehilangan berat
X	= Rata - rata data
α	= Koefisien keyakinan
ε	= Strain (regangan plastis)
ε_x	= Regangan tegak lurus garis las
ε_y	= Regangan searah garis las
σ	= Tegangan
σ_x	= Tegangan tegak lurus garis las
σ_y	= Tegangan searah garis las
σ_{TS}	= Kekuatan tarik
σ^2	= Varian sampel
μ	= Rata - rata interval
v	= Angka poison
ρ	= Berat jenis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja AISI 1015 merupakan salah satu jenis baja yang banyak digunakan pada konstruksi, industri maupun keperluan lain yang memanfaatkan sifat keuletan (*ductility*) dan kekuatan tarik (*tensile strength*) yang besar dari baja tersebut (Toshi Okumura 1981). Sifat keuletan (*ductility*) dan *yield strength* yang besar dari baja AISI 1015 dimungkinkan karena mengandung unsur - unsur Fe, C, Mn dan unsur lain yang mendukung, sifat di atas masih dapat dipertahankan sejauh kandungan unsur - unsur penunjangnya stabil, unsur - unsur penunjang menjadi tidak stabil manakala baja AISI 1015 diberi perlakuan panas dengan laju pendinginan dalam kisaran 600° - 350° C yang relatif lambat sehingga terjadi perubahan sifat mekanisnya (William F. Smith 1993). Proses perlakuan panas pada umumnya dimaksudkan untuk mengurangi adanya tegangan sisa yang terjadi akibat dari proses pengelasan (Toshi Okumura 1981). Untuk memperoleh gambaran tentang struktur yang akan diperoleh, transformasi - transformasi fasa yang mungkin dan sifat - sifat mekanis baja AISI 1015 diperlukan suatu pengetahuan yang luas tentang diagram fasa, pada perlakuan panas dengan suhu pada kisaran 600° - 350° C maka terjadi transformasi martensit -



karbida besi, transformasi ini menyebabkan kestabilan unsur - unsur terganggu (instabilitas). (William, F 1993)

Dalam penelitian ini penggunaan tiga jenis media pendingin yaitu udara, oli dan air didasarkan terutama pada kalor jenis (*specific heat*) dari ke tiga media tersebut rentangnya cukup besar, yaitu kalor jenis untuk udara 0.0107 Kj/Kg.⁰K, untuk oli 2.216 Kj/Kg.⁰K dan untuk air 3.6496 Kj/Kg.⁰K, dimana semakin besar harga *specific heat* maka makin banyak kalor yang diserap sehingga pendinginan makin cepat, jadi akan mempengaruhi struktur mikro yang terjadi, yang diharapkan akan memperbaiki struktur mikro dari baja tersebut, dimana struktur mikro dari baja sangat berpengaruh terhadap sifat mekanisnya. (Peery, 1984)

1.2 Perumusan Masalah

Pada hasil pengelasan baja AISI 1015 sering terjadi kerapuhan di daerah " Heat Affected Zoon " (HAZ), yang mengakibatkan patahan (crack) di daerah HAZ, kemungkinan hal ini disebabkan karena pengaruh pendinginan dan adanya korosi di antara logam induk dan logam pengisi (lasan).

1.3 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh jenis media pendingin terhadap mutu hasil las baja AISI 1015 yang telah diberi perlakuan panas, ditinjau dari :

1. Kekuatan tarik (*tensile strength*)
2. kekuatan luluh (*yield strength*)
3. Regangan (*tensile ductility*)
4. Kekerasan dan
5. Laju korosi.

Media pendingin yang digunakan antara lain adalah air, oli dan udara sehingga dari penelitian ini diharapkan akan diketahui jenis media pendingin mana (diantara ketiga jenis media pendingin diatas) yang relatif lebih baik untuk digunakan.

Adapun manfaat dari penelitian ini ialah untuk memperbaiki mutu hasil las baja AISI 1015 yang sering mengalami kerapuhan dan mengakibatkan *Crack* yang sangat berbahaya bagi kekuatan struktur.

1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan pendahuluan yang menggambarkan tentang latar belakang dan masalah yang akan di kaji serta tujuan penelitian ini.

BAB II DASAR TEORI

Merupakan landasan teori yang menjadi dasar pemikiran sebagai alat untuk memecahkan masalah.

BAB III PROSEDUR PENELITIAN

Menjelaskan secara berurutan langkah - langkah pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL EKSPERIMEN

Memberikan data yang diperlukan, kemudian mengelolanya lebih lanjut untuk memudahkan pemecahan masalah.

BAB V PEMBAHASAN

Merupakan analisa dan pembahasan hasil data yang diperoleh.

BAB VI KESIMPULAN

Berisi evaluasi pembahasan yang telah dilakukan sehingga dapat di tarik kesimpulan.

Daftar Pustaka

Lampiran

1.5 Batasan Masalah

Untuk mempermudah pemecahan masalah dibutuhkan beberapa batasan, antara lain :

- Pemotongan benda uji searah dengan arah pengerolan.
- Bahan benda uji adalah baja AISI 1015
- Proses pengelasan menggunakan " SMAW welding " pada posisi tepat di tengah plat.
- Sambungan yang digunakan adalah single V groove butt joint dengan opening root 2.6 mm
- Jenis media pendingin yang digunakan udara, oli Mesran SAE 40 dan air, untuk media pendingin oli dan air, masing masing bervolume 3 liter.

- Benda uji yang diperlakukan panas berbentuk plat dengan ukuran 300 mm x 250 mm x 10 mm.

1.6 Metodologi

Penelitian ini merupakan studi eksperimental yang dilakukan di laboratorium konstruksi dan kekuatan, laboratorium produksi dan laboratorium CNC Fakultas Teknologi Kelautan ITS, untuk pengujian laju korosi dilaksanakan di laboratorium Kimia MIPA ITS. Sebagai sebuah benda uji dipergunakan baja carbon AISI 1015 yang geometrinya akan ditentukan kemudian yang disesuaikan dengan standart yang ada.

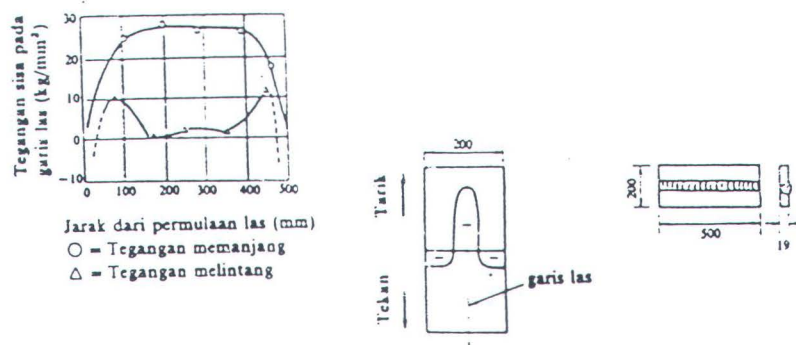
Tahap penelitian yang meliputi pengelasan benda uji baja carbon AISI 1015 dan sifat mekanis serta laju korosi ditunjukkan dalam diagram alir pada BAB III tentang prosedur penelitian.

BAB II

DASAR TEORI

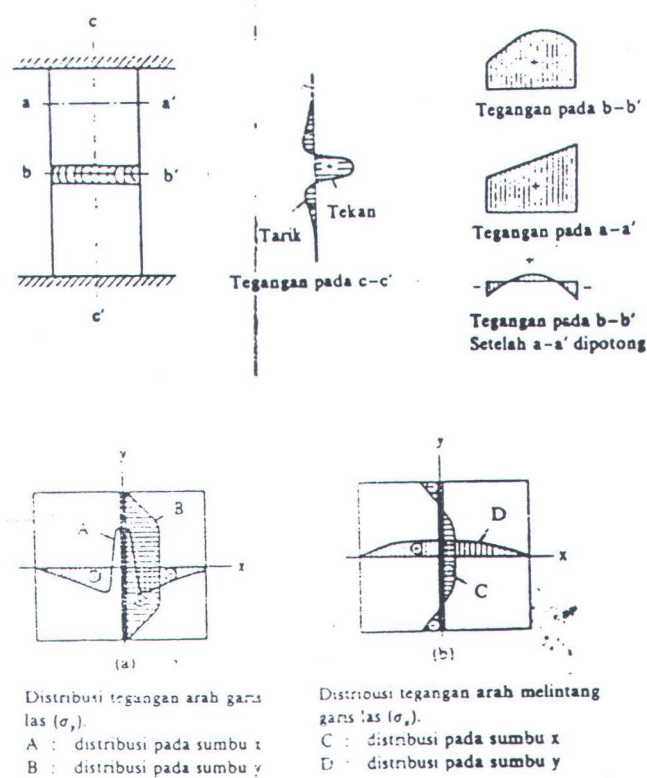
Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal, sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalang pemuaian yang mengakibatkan terjadinya tegangan yang sifatnya permanen yang disebut tegangan sisa (Toshi Okumura 1981). Tegangan sisa yang terjadi dalam proses pengelasan ini dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu :

1. Tegangan sisa oleh adanya halangan dalam yang terjadi karena pemanasan dan pendinginan setempat pada konstruksi yang bebas seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gbr. 2.1. Tegangan sisa karena penahanan dalam
(Toshi Okumura 1981)

2. Terjadinya tegangan sisa oleh adanya halangan luar seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.2



Gbr. 2.2. Tegangan sisa karena penahanan luar
(Toshi Okumura 1981)

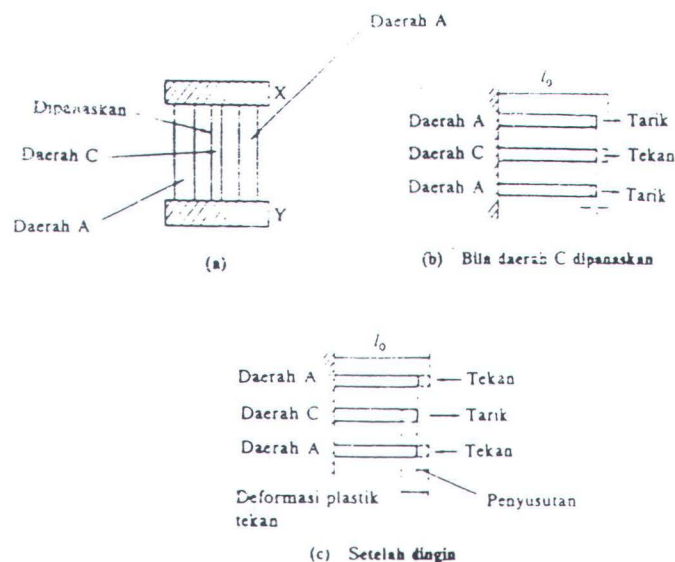
Tegangan sisa yang terjadi sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan dari sambungan, karena itu usaha untuk mengatur dan mengurangi tegangan sisa mendapat perhatian utama.

2.1 Terjadinya Tegangan Sisa

Pada lasan konstruksi bebas akan terjadi tegangan tarik arah memanjang pada sekitar garis las dan tegangan tekan pada jarak yang sedikit lebih jauh lagi yang seimbang satu sama lain.

Terjadinya tegangan sisa ini dapat dilihat dalam gambar 2.3, di mana daerah C mengembang pada waktu pengelasan. Pengembangan pada C ditahan oleh daerah A, sehingga pada daerah C terjadi tegangan tekan dan pada daerah A terjadi tegangan tarik. Tetapi bila pada daerah A luasnya jauh lebih besar dari C, maka pada daerah C akan terjadi perubahan bentuk tetap, sedangkan pada daerah A terjadi perubahan bentuk elastis. Pada waktu pengelasan selesai, terjadilah proses pendinginan di mana bagian C menyusut cukup besar disamping karena pendinginan juga karena adanya tegangan tekan. Penyusutan ini ditahan oleh daerah A, karena itu pada daerah C akan terjadi tegangan tarik yang diimbangi oleh tegangan tekan pada daerah A.

Hal - hal yang berpengaruh dalam pembentukan tegangan sisa adalah batas transformasi dan batas luluh bahan, suhu pemanasan yang tinggi, kecepatan pendinginan, tahanan luar dan pemanasan mula (Toshi Okumura 1981).



Gbr. 2.3 Terjadinya tegangan sisa
(Toshi Okumura 1981)

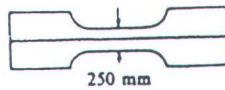
2.2 Pengaruh Tegangan Sisa

1. Pengaruh tegangan sisa terhadap kekuatan statik

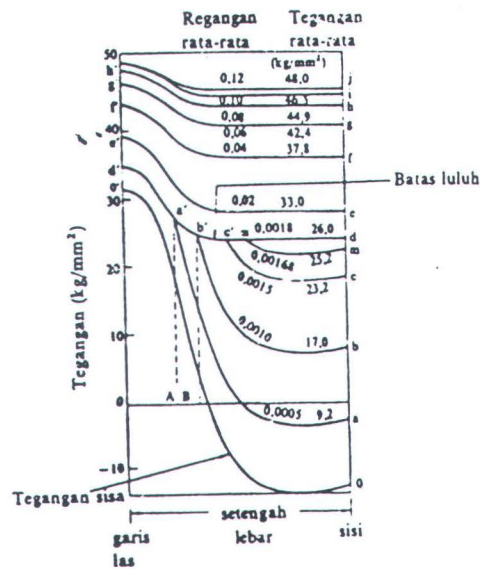
Tegangan sisa dikatakan tidak mempengaruhi kekuatan statik logam, selama logam induk dan logam las mempunyai keuletan yang cukup. hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut ini.

Misalnya suatu batang uji (gambar 2.4) dengan tegangan sisa pada lasan sebesar 00' seperti pada gambar 2.5. Pada pengelasan baja lunak, kekuatan luluh dan tarik dari logam pada daerah las lebih tinggi dari pada logam induk tetapi perpanjangannya lebih rendah. Bila dianggap bahwa diagram tegang - regang untuk setiap bagian seperti kurva pada gambar 2.6 dan kekuatan luluhnya sebesar dd' pada kurva dalam gambar 2.5, maka bila sambungan ditarik semua bagian akan bertambah panjang secara merata sampai tercapainya batas luluh. Dalam keadaan ini tegangan yang terjadi dalam sambungan adalah aa'd,bb'd,cc'd dan mm'd. Bila tegangan ini mencapai dd' baru akan terjadi perubahan bentuk elastik pada sambungan. Tetapi seperti diterangkan di atas kekuatan luluh secara keseluruhan menjadi lebih tinggi, maka tegangan sisa tidak mempengaruhi kekuatan luluh dari sambungan secara keseluruhan.

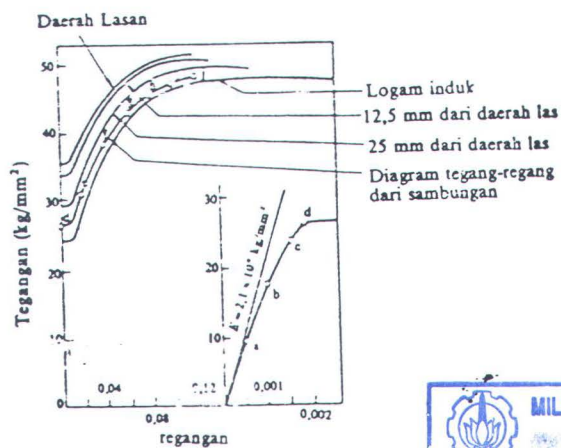
Bila penarikan diteruskan hingga melebihi batas luluh maka tegangan yang terjadi pada gambar 2.5 berubah dari dd' menjadi ee' dan ff' yang terletak pada kurva def dari gambar 2.6. Bila penarikan diteruskan lagi maka batang uji akan patah karena adanya penyusutan setempat. Dalam keadaan ini perbandingan antara tegangan sisa terhadap tegangan yang terjadi sangat kecil, sehingga tegangan sisa boleh dikatakan tidak berpengaruh terhadap terjadinya patah.



Gbr. 2.4 Batang uji



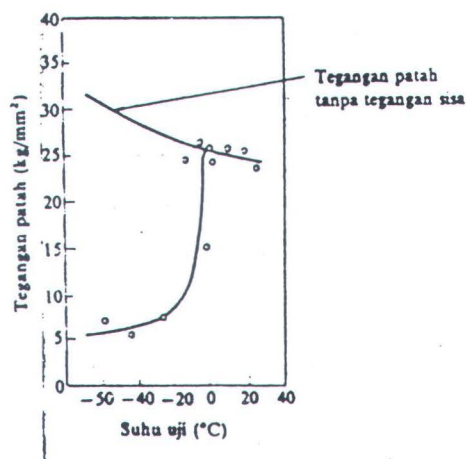
Gbr. 2.5 Pengaruh peregangan pada tegangan sisa.



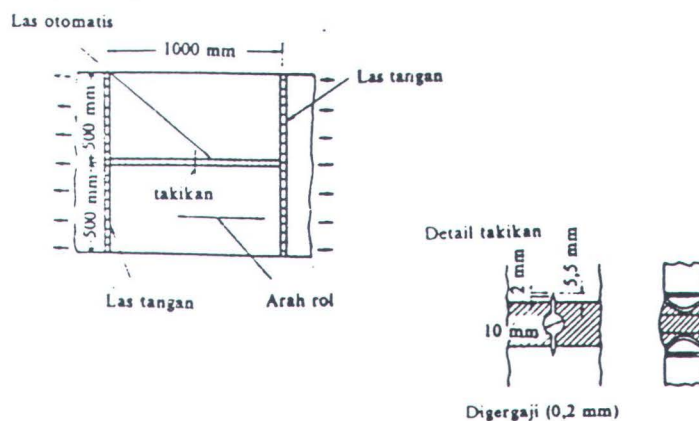
Gbr. 2.6 Kurva tegang - regang pada sambungan las dan daerah sekitarnya. (Toshi Okumura 1981)

2.2.1 Pengaruh Tegangan sisa pada patah getas

Tegangan sisa berpengaruh jelek terhadap patah getas dari sambungan las. Hal ini dapat ditunjukkan dengan menarik batang uji bertakik ke arah lasan pada beberapa suhu yang berlainnan. Hubungan antara suhu dan tegangan patah getas ditunjukkan dalam gambar 2.7 sedangkan skema batang uji dapat dilihat dalam gambar 2.8. Bila dalam sambungan tidak ada tegangan sisa maka tegangan patah getas akan naik dengan diturunkannya suhu pengujian. Tetapi bila terdapat tegangan sisa, tegangan patah getasnya menurun dengan cepat pada suatu suhu tertentu.



Gbr. 2.7 Pengaruh tegangan sisa pada tegangan patah dari pelat uji dengan takikan. (Welding Hand Book, AWS 1973)

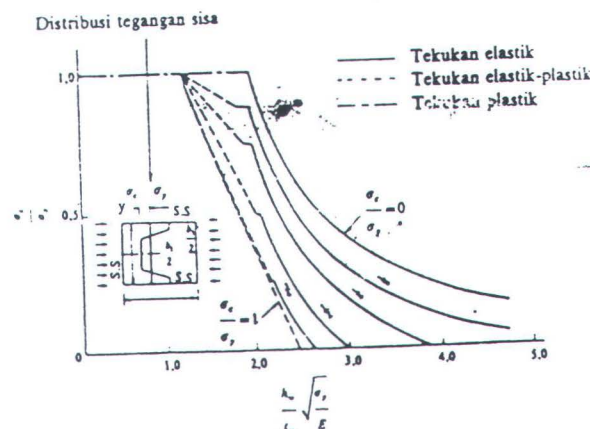


Gbr. 2.8 Pelat uji dengan takikan.

2.2.2 Pengaruh tegangan sisa pada kekuatan tekuk

Pada umumnya tegangan sisa mempengaruhi kekuatan tekuk dari konstruksi. Bila suatu konstruksi panil mempunyai banyak garis las maka pada tengah panil akan terjadi tegangan sisa yang bersifat tekan. Dalam hal ini kadang - kadang konstruksi dapat tertekuk sendiri karena adanya tegangan sisa yang besar. dalam gambar 2.9 ditunjukkan suatu contoh pengaruh dari tegangan sisa terhadap kekuatan tekuk.

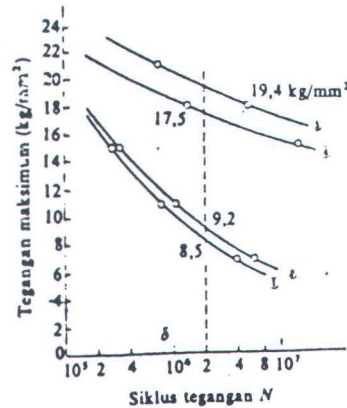
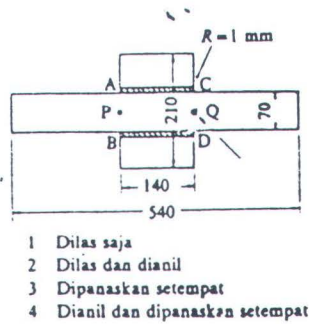
Misalnya bejana dengan bentuk bola konstruksinya terdiri dari beberapa cincin, tembereng atas dan bawah. Sedangkan kaki penyangga terdiri dari bagian atas yang berhubungan dengan bejana dan bagian bawah yang berhubungan dengan fondasi, lubang - lubang sambungan pipa masuk sehingga konstruksi ini rawan akan tekukan.



Gbr. 2.9 Pengaruh tegangan sisa terhadap kekuatan tekuk plat
(Welding Hand Book, AWS 1973)

2.2.3 Pengaruh tegangan sisa terhadap sifat lainnya

Kekuatan fatik dari sambungan menjadi turun bila ada tegangan sisa tarik yang searah beban tetapi menjadi naik bila terdapat tegangan sisa tekan seperti ditunjukkan dalam gambar 2.10



Gbr. 2.10 Pengaruh tegangan sisa pada kekuatan fatik
(Welding Hand Book, AWS 1973)

2.2.4 Pengukuran Besarnya Tegangan sisa

Tegangan sisa dapat dihitung melalui regangan sisa yang terjadi dengan menggunakan hukum Hook. sedangkan regangan sisa dapat diukur dari perubahan ukuran antara batang sebelum dipotong, yaitu ukuran yang digambarkan pada bagian yang akan ditentukan tegangan sisanya dan ukuran sebenarnya yang didapat setelah bagian yang akan diuji dipotong. Dari hukum Hook jelas bahwa perubahan ukuran ini disebabkan oleh adanya tegangan sisa. Dalam hal tegangan satu arah dapat dihitung dengan persamaan 2.1 yaitu (Toshi Okumura 1981) :

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} \quad 2.1$$

dimana :

σ = tegangan sisa yang terjadi

E = Modulus elastisitas

l = panjang sebelum dipotong

Δl = perubahan panjang

Dalam hal terjadi tegangan sisa dengan dua dimensi dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan (2.2) dan (2.3)

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_x + \nu \epsilon_y) \quad 2.2$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_y + \nu \epsilon_x) \quad 2.3$$

dimana :

σ_x = Tegangan tegak lurus garis las

σ_y = Tegangan searah garis las

ϵ_x = Regangan tegak lurus garis las

ϵ_y = regangan searah garis las

ν = angka poisson

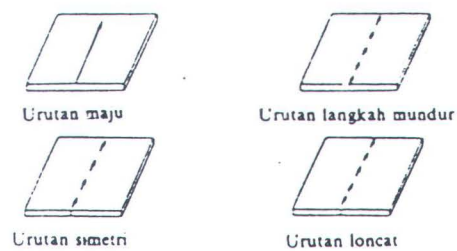


2.2.5 Pengurangan dan Pembebasan Tegangan Sisa

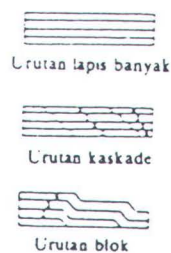
(1) Pengurangan tegangan sisa

Dalam pengelasan tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan pada waktu pendinginan setelah pengelasan. Besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dikurangi dengan jalan mengurangi besarnya masukan panas dan banyaknya logam lasan yang dilaksanakan dengan memperkecil sudut alur dari kampuh dan memperkecil celah akar pada las tumpul.

Karena penghalang luar juga menyebabkan terjadinya tegangan sisa, maka perlu dihindari terjadinya dengan menentukan urutan pengelasan yang baik. Dalam gambar 2.11 ditunjukkan suatu contoh urutan pengelasan yang baik.



(a) Arah pengelasan



(b) Arah pengisian

Gbr. 2.11 Urutan pengelasan
(Toshie okumura, 1981)

(2) Pembebasan Tegangan Sisa

Terdapat dua cara untuk membebaskan tegangan sisa, yaitu cara mekanik dan cara termal. kedua cara ini diterangkan dengan jelas dalam tabel 2.1. Dari kedua cara ini yang paling banyak dilaksanakan adalah cara termal dengan proses anil.

Suatu konstruksi yang memerlukan faktor keamanan yang tinggi seperti misalnya bejana bertekanan harus bebas dari adanya tegangan sisa, hal ini dikarenakan tegangan sisa akan menambah beban yang harus ditahan bejana jika tegangan sisa yang cukup besar terjadi maka kemungkinan besar konstruksi akan gagal dibawah perencanaan tegangan operasi.

Cara	Penjelasan	Keuntungan	Kerugian	
Cara mekanik	Penempaan	Logam lasan dan daerah sekitarnya ditempa atau dipukul selama atau setelah pengelasan	Dapat digunakan pada logam-logam ulet. Butir logam dapat menjadi halus.	Tidak dapat digunakan pada logam-logam getas
	Peregangan	Sambungan ditarik sampai terjadi perubahan bentuk plastik.	Sangat baik untuk bejana bentuk bola. Karena geometrinya maka tegangan yang diperlukan dapat dihitung dengan teliti. Pelaksanaannya dapat dilakukan dengan tekanan hidrostatik.	Tidak dapat digunakan pada bentuk-bentuk yang rumit.
	Getaran	Kepada konstruksi diberikan getaran yang dapat memberikan resonansi frekwensi rendah. Karena getaran ini akan terjadi perubahan bentuk plastik setempat.	Pelaksanaannya sederhana.	Tidak dapat digunakan pada konstruksi besar dengan pelat-pelat tebal karena hasilnya tidak merata.
Cara termal	Anil	Lasan dari jenis baja ferrit dipanaskan sampai 600 atau 700°C dan yang dari jenis austenit sampai 900°C. Setelah ditahan beberapa waktu pada suhu ini kemudian didinginkan pelan-pelan.	Keberhasilannya tinggi	Tidak dapat digunakan pada konstruksi besar dan sukar untuk dilaksanakan di lapangan.
Cara termal	Anil suhu tinggi	Lasan dari jenis baja konstruksi umum dipanaskan sampai 900 atau 950°C Setelah ditahan beberapa lama pada suhu ini kemudian didinginkan pelan-pelan.	Seluruh tegangan sisa dapat dibebaskan.	Diperlukan pemanasan yang merata dan harus dijaga agar tidak terjadi perubahan bentuk.
	Pembebasan tegangan dengan suhu rendah	Kedua permukaan daerah lasan selebar 60 sampai 130 mm dipanaskan sampai 150 atau 200°C, yang diikuti dengan pendinginan dengan air.	Baik untuk konstruksi-konstruksi besar.	Pengurangannya terhadap tegangan sisa rendah.

Tabel 2.1 Cara pengurangan dan pembebasan tegangan sisa

(Toshie okumura, 1981)

2.3 Baja Carbon

Menurut komposisi kimianya baja dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu baja karbon (baja tanpa paduan, plain carbon steel) dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain selain besi dan karbon. Baja karbon masih mengandung sejumlah unsur lain, tetapi masih dalam batas - batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur - unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi/baja, seperti mangan dan silikon, dan beberapa unsur pengotor, seperti belerang, phosphor, oksigen, nitrogen dan lain - lain yang biasanya ditekan sampai kadar sangat kecil.

Setiap jenis baja perlu diberi suatu " nama " agar mudah dikenali. Nama ini berupa kode yang ditetapkan dalam suatu standar, lengkap dengan spesifikasi utamanya. Cara penamaan ini bermacam - macam, ada yang berdasarkan kekuatannya atau komposisi kimianya. Hampir semua standar, terutama di negara - negara maju memuat penamaan baja dan spesifikasinya. AISI (American Iron and Steel Institut) menyatakan spesifikasi baja dengan empat angka, angka pertama menunjukkan jenis bajanya, angka 1 untuk baja karbon, angka 2 untuk baja nikel, angka 3 untuk baja nikel chromium dan sebagainya

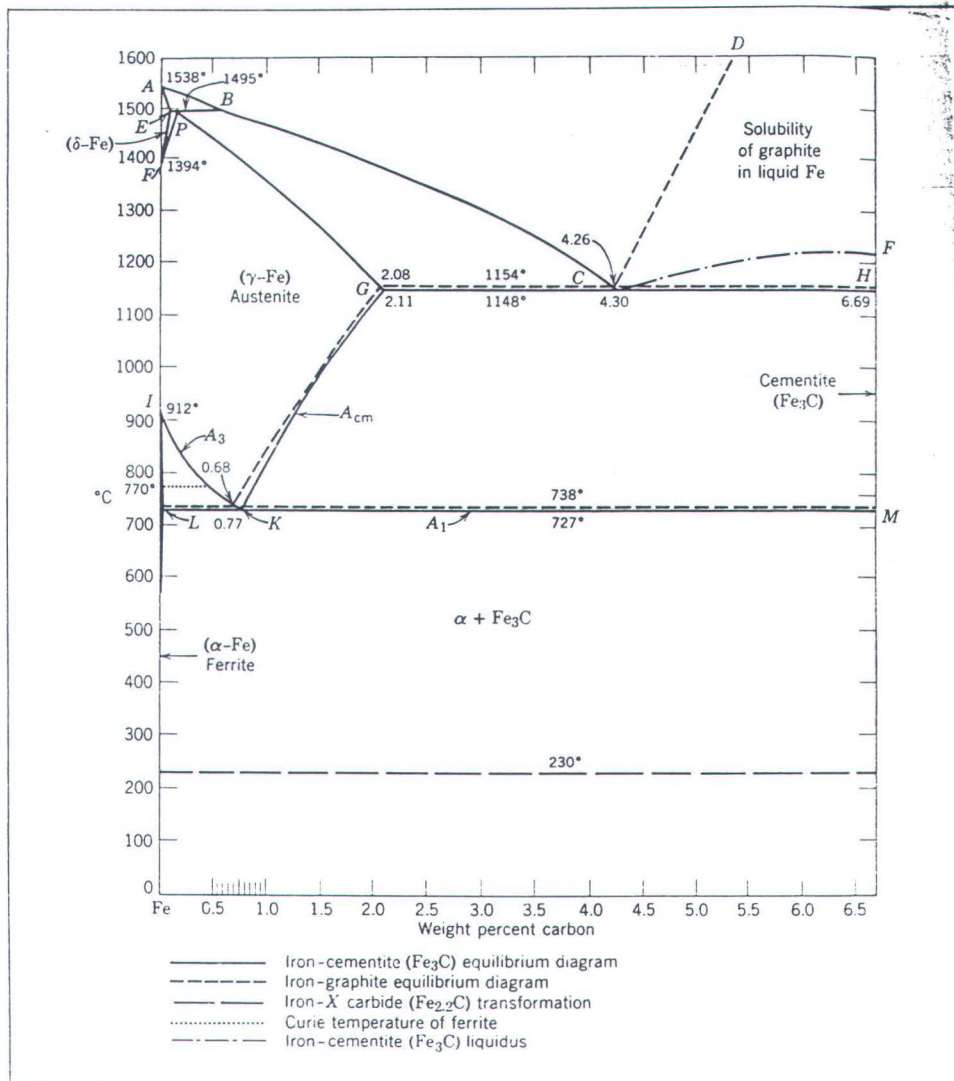
Nomenklatur Baja AISI dan SAE

Nomor AISI atau SAE	Komposisi	UNS
10xx	Baja-karbon*	G10xx0†
11xx	Baja-karbon (ditambah belerang untuk mampu pemesinan)	G11xx0
15xx	Mangan (1,0 – 2,0%)	G15xx0
40xx	Molibden (0,20 – 0,30%)	G40xx0
41xx	Khromium (0,40 – 1,20%), molibden (0,08 – 0,25%)	G41xx0
43xx	Nikel (1,65 – 2,00%), khromium (0,40 – 0,90%), molibden (0,20 – 0,30%)	G43xx0
44xx	Molibden (0,5%)	G44xx0
46xx	Nikel (1,40 – 2,00%), molibden (0,15 – 0,30%)	G46xx0
48xx	Nikel (3,25 – 3,75%), molibden (0,20 – 0,30%)	G48xx0
51xx	Khromium (0,70 – 1,20%)	G51xx0
61xx	Khromium (0,70 – 1,10%), vanadium (0,10%)	G61xx0
81xx	Nikel (0,20 – 0,40%), khromium (0,30 – 0,55%), molibden (0,08 – 0,15%)	G81xx0
86xx	Nikel (0,30 – 0,70%), khromium (0,40 – 0,85%), molibden (0,08 – 0,25%)	G86xx0
87xx	Nikel (0,40 – 0,70%), khromium (0,40 – 0,60%), molibden (0,20 – 0,30%)	G87xx0
92xx	Silikon (1,80 – 2,20%)	G92xx0

Tabel 2.2 Spesifikasi baja menurut AISI
(William F. Smith 1993).

Angka kedua, pada baja paduan menunjukkan kadar unsur paduannya, dua angka terakhir menunjukkan kadar karbon dalam per seratus persen. Jadi baja AISI 1040 adalah baja carbon dengan 0.40 % C (William F. Smith 1993).

Pada gambar 2.12 terlihat diagram fasa besi (Fe) dan karbida besi, Fe_3C . Diagram fasa ini menjadi landasan untuk laku panas kebanyakan jenis baja yang kita kenal. Dalam gambar diagram 2.12 tersebut prosenan karbon dibentangkan dari kiri ke kanan dan prosenan besi dibentangkan dari kanan ke kiri (Lawrance 1985).



Gbr. 2.12 diagram fasa Fe - Fe_3C .
(William F. Smith 1993).

Dalam besi cair, karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Diagram keseimbangan sistem paduan besi - karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstisialnya karbida besi Fe_3C yang mengandung 6.67 % C. Sebenarnya diagram fase besi - karbida besi ini bukan suatu diagram keseimbangan yang sesungguhnya, karena karbida besi bukanlah struktur yang akan terjadi pada keadaan yang benar - benar ekuilibrium. Diagram besi - karbida besi ini dapat dianggap merupakan diagram ekuilibrium karena perubahan-perubahan yang terjadi berlangsung pada pemanasan dan pendinginan yang cukup lambat. Pada keadaan yang betul - betul ekuilibrium karbon akan berupa karbon bebas (grafit), sehingga akan diperoleh diagram keseimbangan besi - grafit. Perubahan - perubahan dalam keadaan ekuilibrium berlangsung terlalu lama, tapi perubahan ini boleh dikatakan tidak akan terjadi pada temperatur kamar. dalam keadaan ini karbida besi dikatakan sebagai suatu struktur yang metastabil.

Ferit atau besi - α . Modifikasi struktur dari besi murni pada suhu ruang disebut Ferit atau besi - α . Ferit lunak dan ulet, dalam keadaan murni (komersial) kekuatan tariknya kurang dari 310 MPa. Bersifat feromagnetik pada suhu dibawah 770°C . berat jenis ferit adalah 7.88 Mg/m^3 (Suherman W 1989). Karena ferite mempunyai struktur kubik pemusatan ruang, ruangan antara atom kecil dan rapat sehingga tidak dapat menampung atom karbon yang kecil sekalipun. Oleh sebab itu daya larut karbon dalam ferit rendah < 1 karbon per 1000 atom besi.

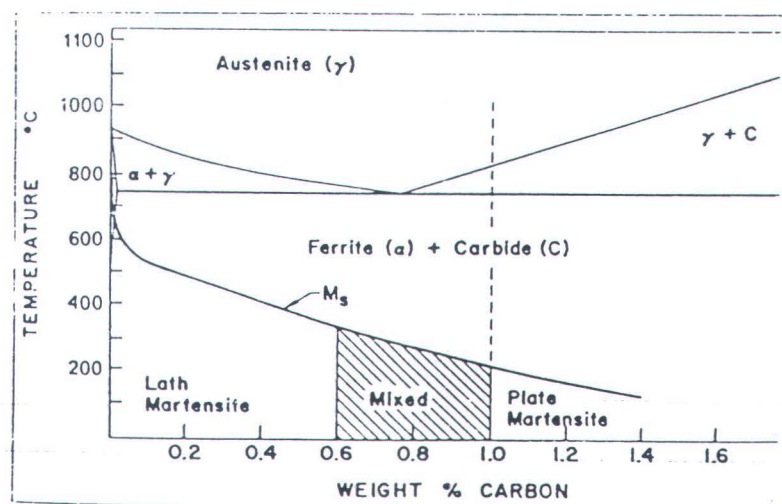
Austenit, atau besi - γ . Modifikasi besi dengan struktur pemusatan sisi disebut austenit, atau besi - γ . Bentuk besi murni ini stabil pada suhu antara 912°C dan 1394°C . Perbandingan langsung antara sifat - sifat mekanis austenit dan ferit sulit karena

harus dibandingkan pada suhu berlainan. Akan tetapi pada suhu stabilnya austenit lunak dan ulet sehingga mudah dibentuk. Austenit tidak bersifat feromagnetik pada suhu manapun.

Besi - δ . Diatas suhu 1394°C , austenit bukan bentuk besi yang paling stabil karena struktur kristal berubah kembali menjadi fasa kubik pemusatan ruang. Besi - δ sama dengan Besi - α kecuali daerah suhunya, oleh karena itu biasanya disebut ferit- α

Karbida besi. Pada paduan besi - karbon, karbon melebihi batas daya larut membentuk fasa kedua, yang disebut karbida besi (sementit). Karbida besi mempunyai komposisi kimia, Fe_3C . Hal ini tidak berarti bahwa karbida besi membentuk molekul - molekul Fe_3C , akan tetapi kisi kristal mengandung atom besi dan karbon dalam perbandingan tiga lawan satu. Dibandingkan dengan austenit dan ferit, sementit sangat keras. Karbida besi dalam ferit meningkatkan kekerasan baja.

Pada gambar 2.13 menyatakan transformasi martensit - karbida besi. dalam diagram transformasi tersebut untuk kandungan karbon sekitar 0.1 % sampai 0.6 % maka transformasi isothermal pada suhu kira kira 300°C - 550°C



Gbr. 2.13 Transformasi isothermal martensite
(Zbigniew ,J. 1959)

2.4 Las Busur Listrik Elektrode Terbungkus

SMAW (Shield Metal Arc Welding) ialah proses pengelasan dengan menggunakan proses panas yang dihasilkan oleh panas busur yang terjadi diantara ujung elektrode dan logam induk.. Selama proses pengelasan berlangsung, penyampuran logam cair dilindungi oleh gas dan terak yang berasal dari selaput elektrode. Dibanding dengan cara pengelasan yang lain, pengelasan dengan cara ini banyak digunakan. Selain dengan cara manual ada juga yang dipakai dengan cara semi otomatis dan otomatis, penggunaan dengan cara otomatis biasanya disebut " Gravity Welding ".(Toshi Okumura 1981)

Beberapa faktor yang merupakan keuntungan, sehingga penggunaan SMAW cukup luas :

- (1) Cara pengelasan ini dapat dikatakan cukup fleksibel, dapat menyambung logam yang tipis hingga tebal dengan bermacam - macam posisi pengelasan.
- (2) Lebih ekonomis karena modal yang diperlukan relatif kecil serta biaya pemeliharaannya lebih murah.
- (3) Penggunaannya lebih mudah, sehingga tidak terlalu sukar untuk melatih calon welder yang belum bisa.

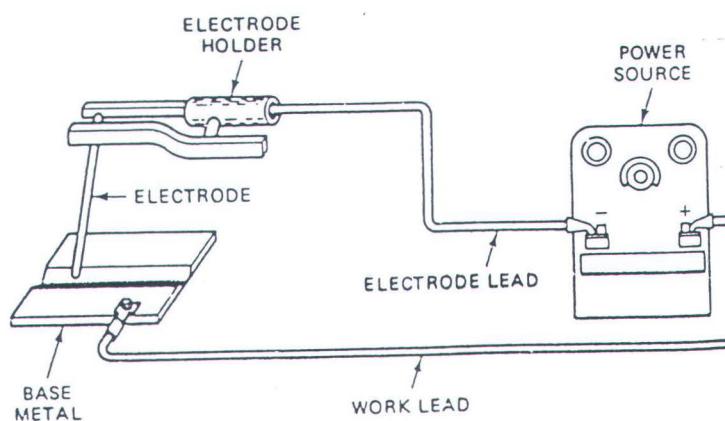
Terbentuknya busur pengelasan pada cara ini, dimulai dari tersentuhnya kawat elektrode ke base metal. Dengan tersentuhnya elektrode ke logam induk maka akan terjadi loncatan - loncatan partikel listrik. Karena loncatan partikel tersebut maka timbul panas yang tinggi, sehingga kawat elektrode dan base metal akan mencair.

Besarnya arus lompatan elektron ini akan menentukan baik buruknya hasil pengelasan. Bila arus rendah maka pemindahan elektrode akan menjadi besar-besar, sedangkan pada arus yang besar pemindahan elektrode akan menjadi butiran kecil-kecil dan halus. Hasil pengelasan logam tersebut ditentukan sekali oleh pola pemindahan logam cair, selain itu juga ditentukan oleh jenis material induk dan elektrode, termasuk juga fluknya.

Peralatan yang digunakan untuk proses pengelasan ini adalah :

1. Pembuat sumber tenaga yang biasanya disebut mesin las.
2. Elektrode holder serta kabel yang menghubungkan antara elektrode holder dengan mesin las (sumber tenaga) dan antara base metal dengan sumber tenaga.
3. Electrode lead
4. Work lead

Sebagai alat yang menimbulkan tenaga pengelasan dapat berupa generator welding machine yang disebut rotating machine, atau rectifier welding



Gbr. 2.14 Peralatan pokok SMAW
(Modern Welding Technology, 1979)

machine yang disebut statik machine. Secara garis besar mesin las diperinci mempunyai 4 spesifikasi seperti di bawah ini : (Modern Welding Technology, 1979)

1. Jenis pembangkit listriknya.
2. Jenis arus yang dikeluarkan AC atau DC.
3. Karakteristik mesin las tersebut CC atau CV.
4. Duty cyclesnya

2.4.1 Jenis pembangkit listriknya

Sumber listrik untuk pengelasan ada 2 (dua) macam, yaitu generator dan convertor, untuk generator digerakkan oleh motor, baik motor disel, bensin serta motor listrik. Untuk jenis generator menghasilkan arus AC ataupun DC, yang kebanyakan DC, sedangkan jenis convertor biasanya dikenal 2 (dua) macam yaitu : transformer, dan rectifier transformer. Untuk jenis yang pertama hanya menghasilkan arus pengelasan AC saja, sedangkan rectifier transformer dapat menghasilkan arus pengelasan AC dan DC. Pemilihan busur listrik arus AC atau DC maka perlu dipertimbangkan yang baik sebelum kita tentukan AC atau DC, untuk memilih AC atau DC juga tergantung dari jenis elektrodenya apakah elektrode untuk arus AC atau DC. Biasanya AC lebih banyak digunakan karena murah, akan tetapi busur las agak kurang stabil bila dibandingkan dengan busur las DC.

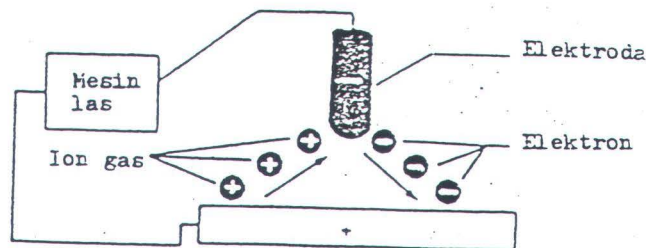
2.4.2 Jenis arus yang dikeluarkan.

2.4.2.1 Pengelasan dengan arus searah (DC)

Ada dua sistem pengelasan dengan arus searah (DC), yaitu :

a. Direc Current Straigh Polarity (DCSP)

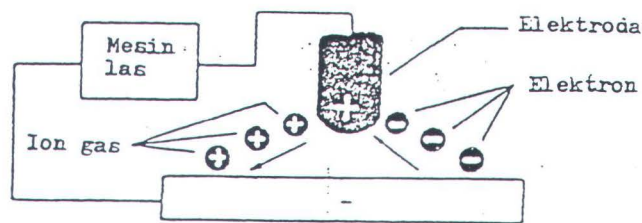
Maksud dari DCSP adalah elektroda ada pada kutub negatif dan benda kerja ada pada kutub positif. Oleh karena itu terjadi aliran elektron dari elektroda menuju benda kerja dan sebaliknya aliran ion - ion (+) dari benda kerja ke elektroda karena elektron meninggalkan elektroda maka elektroda tidak terlalu panas dan benda kerja makin cepat panas sehingga mencair dan terjadi penembusan las yang dalam.



Gbr 15 . Direc Current Straigh Polarity (DCSP)
(Modern Welding Technology, 1979)

b. Direc Current Reverse Polarity (DCRP)

Untuk DCRP hubungan listriknya kebalikan dari Direc Current Straight Polarity (DCSP) dimana ion-ion (+) elektroda ke benda kerja dan elektron dari benda kerja ke elektroda akibatnya perpindahan ion-ion (+) pada benda kerja ini terjadi aksi pembersihan (cleaning action) dan mengupas lapisan oksida yang mempunyai temperatur cair tinggi. Dengan lepasnya lapisan oksida benda kerja mudah dilas. Tetapi elektroda mengalami pemanasan besar disebabkan tembakan elektron dari benda kerja. (Murdjito 1993)

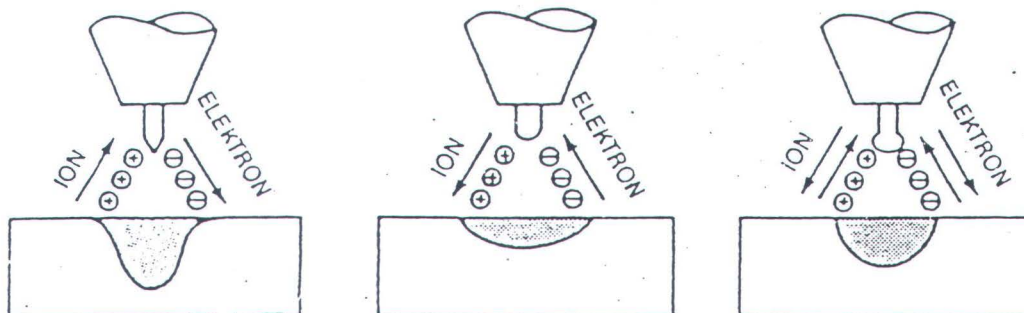


Gbr 16 . Direc Current Reverse Polarity (DCRP)
(Modern Welding Technology, 1979)

2.4.2.2 Pengelasan dengan arus bolak - balik (AC)

Arus bolak - balik (AC) secara teori merupakan kombinasi antara DCSP dan DCRP dimana ion positif dan ion negatif berbalik secara periodik 50 kali per detik. Pada kenyataannya. Pada kenyataannya arus AC sering tidak sama besar arusnya, disebabkan adanya lapisan oksida korosi (kotoran yang menjadi penghalang arus) pada permukaan benda kerja, sehingga terjadi ketidakseimbangan antara besarnya arus yang mengalir.

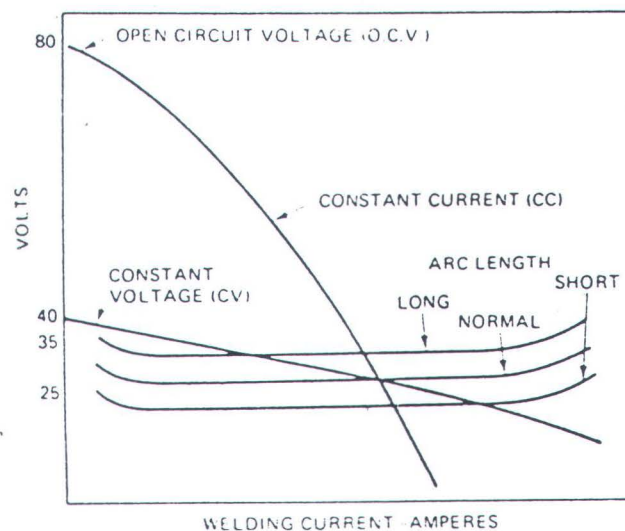
Untuk mengatasinya hal ini digunakan arus bolak-balik berfrekuensi tinggi yang akan mempermudah penghantaran arus listrik pada saat " Reverse Polarity ", sedangkan aliran arus pada " Straight Polarity " sangatlah mudah.



Gbr.2.17 Penetrasi DCSP - DCRP - AC
(Welding and Cutting, 1988)

2.4.3 Karakteristik mesin las CC atau CV

Untuk karakteristik tegangan dari arus pengelasan yang keluar dari mesin las dibedakan menjadi 2 (dua) macam yaitu Constant Current (CC) dan Constant Voltage (CV). Gambar 2.18 memperlihatkan karakteristik untuk CC dan CV.



Gbr. 2.18 Karakteristik Statik Volt Ampere
(Welding and Cutting, 1988)

Kedua karakteristik tersebut berbeda satu sama lain, dengan karakteristik ini akan dibedakan mesin las tersebut dipakai untuk mesin las manual atau semi otomatis dan otomatis. Curva Constant Current menggambarkan mesin las mengeluarkan maksimum voltage sekitar 90 volt pada keadaan tanpa beban, kemudian menurun voltasenya ketika diberi beban, dengan besarnya open voltage ini daya yang dipakai harus besar. Sedangkan arus pengelasan akan tidak berubah banyak, bila panjang busurnya berubah - ubah dari long, normal, short.

Sedangkan curva constant voltage agak landai kebawah dan pada saat open voltage sudah menunjukkan voltage yang rendah yaitu sekitar 40 volt sehingga watt yang digunakan relatif lebih kecil. Karena landai tersebut maka perbedaan panjang busur yang edikit saja akan menimbulkan perbedaan ampere yang besar sehingga perbedaan panjang busur sedikit saja akan menimbulkan perbedaan panas yang dihasilkan.

Oleh sebab itu maka pada pengelasan SMAW tidak digunakan tipe CV ini, mesin las semi otomatis dan otomatis menggunakan tipe ini.

2.4.4 Dutycycles

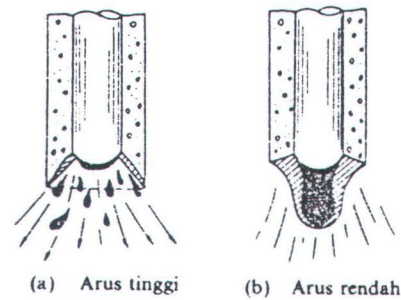
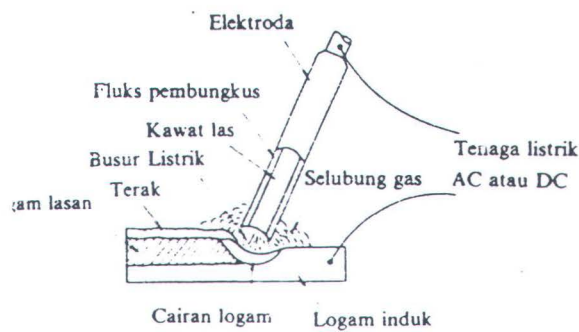
Hal ini sangat penting bagi para pemakai mesin las sebab dengan dutycycle yang rendah, bila dipakai terus menerus akan mengakibatkan mesin las rusak, akan tetapi sebaliknya dengan dutycycle yang tinggi harga mesin las tersebut mahal. Yang dimaksud dutycycle disini adalah berapa bagian dari waktu mesin las tersebut dipakai oleh tukang las dibanding waktu penyalaan busur. Sebagai contoh mesin dengan dutycycle 60% pada 100 ampere berarti mesin tersebut bila dijalankan dengan ampere 100 A maka 60 % dari 10 menit dapat dipakai mengelas dan 40 % dari 10 menit harus istirahat. Istirahat ini tidak perlu mesin dimatikan dan biasanya istirahat ini digunakan untuk ganti elektrode, membersihkan slag dan sebagainya. Mesin las dapat dinaikkan dutycyclenya dengan menurunkan kapasitas ampere lasnya untuk memperpanjang waktu penyalaan. (Welding and Cutting, 1988)

2.4.5. Elektroda

Las elektrode terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa ini. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektrode logam yang

dibungkus dengan fluks. Dalam gambar 2.19 dapat dilihat dengan jelas bahwa busur listrik terbentuk diantara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung dari elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama.

Proses pemindahan logam elektrode terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti terlihat dalam Gbr. 2.20(a), sebaliknya bila arusnya kecil maka butirannya menjadi besar seperti tampak dalam Gbr. 2.20(b)



Gbr.2.19 las busur dengan elektrode terbungkus

Gbr. 2.20 Pemindahan Lasan

(Modern Welding Technology, 1979)

Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahannya tidak dapat terbakar, tetapi berubah menjadi gas yang juga menjadi pelindung dari logam cair terhadap oksidasi dan memantapkan busur.

(1) Bahan fluks

Di dalam las elektroda terbungkus fluks memegang peranan penting karena fluks dapat bertindak sebagai:

1. Pemantap busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir - butir cairan logam.
2. Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara disekitarnya.
3. Pengatur penggunaan.
4. Sumber unsur - unsur paduan.

Fluks biasanya terdiri dari bahan - bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu pula. Bahan - bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan pemantap busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan - bahan tersebut antara lain oksida - oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi. Beberapa fluks yang sering digunakan dan sifat - sifat utamanya dapat dilihat pada tabel 2.3

Elektrode las yang ada dipasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan - bahan fluks tertentu yang tergantung dari penggunaannya. Walaupun jenis elektroda sangat banyak jumlahnya, tetapi secara garis besar dapat digolongkan dalam kelas-kelas berikut yang pembagiannya didasarkan atas fluks yang membungkusnya.

- a). Jenis oksida titan : Jenis ini juga disebut rutil atau titania dan berisi banyak TiO_2 didalamnya. Busur yang dihasilkan oleh elektroda yang dibungkus dengan fluks jenis ini tidak terlalu kuat, penetrasi atau penembusan cairan logamnya dangkal dan menghasilkan manik las yang halus.

b) Jenis titania kapur : jenis ini disamping berisi rutil juga mengandung kapur.

Disamping sifat - sifat seperti yang dimiliki oleh jenis oksida titan, jenis ini mempunyai keunggulan lain yaitu kemampuan menghasilkan sifat mekanik yang baik. Walaupun penetrasinya dangkal masih juga dapat menghasilkan manik las yang agak halus. Jenis ini sesuai hampir untuk semua posisi pengelasan, terutama posisi tegak dan posisi atas kepala.

Karena keunggulannya dalam posisi tegak dan atas kepala maka dalam pembangunan kapal- kapal besar. Jumlah pekerjaan las pada pembangunan kapal kira - kira sepertiga dari seluruh jumlah pekerjaan. Proses pembangunan kapal dibagi menjadi beberapa blok, blok - blok yang sudah dirakit yang harus dilas satu sama lain beratnya sampai puluhan ton dan konstruksinya sangat rumit. Karena itu disamping menggunakan las datar juga menggunakan las tegak.

Pengaruh Bahan Fluks	Peman- tap busur	Pemben- tuk terak	Deoksi- dator	Oksi- dator	Pem- bentuk gas	Penambah- an unsur paduan	Penguat pembung- kus	Pengi- kat fluks
Selulosa			○		○		○	
Lempung Silikat	○	○						
Taiek	○	○						
Titanium oksida	○	○						
Ilmenit	○	○						
Feroksida	○	○		○				
Kalsium karbonat	○	○		○	○			
Ferro mangan		○	○			○		
Mangan dioksida		○		○		○	○	
Pasir Silisium		○		○		○		
Kalium silikat	○	○						○
Natrium silikat	○	○						○

○ Fungsi utama
○ Fungsi tambahan

Tabel 2.3 Macam fluks dan bahan fluks
(Toshie Okumura, 1981)

c) Jenis ilmenit : Jenis ini terletak diantara jenis oksidai titan dan jenis oksida besi.

Bahan fluksnya yang utama adalah ilmenit atau FeTiO_3 . Busur yang dihasilkan agak kuat dan menghasilkan penetrasi yang cukup dalam. Derajat kecairan dari terak yang terbentuk cukup tinggi. Dengan sifat tersebut jenis ini dapat menghasilkan sambungan yang mempunyai sifat mekanik yang tinggi. Karena sifat - sifatnya yang dapat mencakup penggunaan yang luas, maka elektrode yang dibungkus dengan fluks ini dianggap sebagai elektrode serba guna.

d) Jenis hidrogen rendah : Jenis ini kadang - kadang disebut juga dengan nama kapur, karena bahan utama yang digunakan adalah kapur dan fluorat. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah, karena itu kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, sehingga ketangguhan sangat memuaskan. Hal - hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya yang kurang mantap, sehingga butiran butiran yang dihasilkan agak besar jika dibandingkan dengan jenis - jenis yang lain. Karena itu dalam pelaksanaannya memerlukan juru las yang sudah berpengalaman dengan jenis tersebut. Karena fluks ini sangat baik dalam sifat mampu-lasnya maka elektrode dengan fluks ini biasanya digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengamanan tinggi seperti konstruksi dengan pelat-pelat tebal dan bejana tekan.

e) Jenis selulosa : jenis ini kira-kira 30 % zat organik yang dapat menghasilkan gas dengan volume besar yang kemudian melindungi logam cair. Busurnya kuat dan penetrasinya dalam. Terak yang terbentuk sedikit karena itu amat baik untuk pengelasan tegak yang menurun. Karena banyaknya percikan - percikan yang

terjadi maka jenis ini tidak dapat menghasilkan manik las yang halus, karena itu jenis ini tidak banyak digunakan lagi.

- f) Jenis oksida besi : Bahan pokok untuk jenis ini adalah oksida besi. Busur yang dihasilkan terpusatkan dan penetrasinya dalam, karena itu jenis ini sangat baik untuk pengelasan sudut horisontal. Walaupun demikian penggunaan elektrode jenis ini hanya sedikit sekali.
- g) Jenis serbuk besi-oksida : Bahan utama dari fluks ini yang meliputi antara 15 sampai 50 % adalah silikat dan serbuk besi. Pemindahan butir-butir cairan berupa semburan halus dan tidak banyak percikan. Kecepatan pengisian sangat tinggi karena itu efisiensinya juga baik. Jenis ini banyak sekali digunakan untuk pengelasan sudut horisontal.
- h) Jenis serbuk besi-titania : Jenis ini menimbulkan busur yang sedang dan menghasilkan manik las yang halus. Karena didalamnya berisi serbuk besi maka efisiensi pengelasan menjadi tinggi. Elektroda dengan fluks ini sangat baik untuk pengelasan sudut horisontal satu lapis.

(2) Standarisasi dan lingkup penggunaan

Di negara-negara industri, elektrode las terbungkus sudah banyak yang distandarkan penggunaannya. Di Jepang misalnya, elektrode las terbungkus untuk baja kekuatan sedang telah distandarkan berdasarkan standar industri Jepang (JIS) Standar di Amerika Serikat (ASTM) didasarkan pada standar asosiasi las Amerika (AWS). Beberapa elektrode untuk baja lunak yang distandarkan menurut JIS dapat dilihat dalam tabel 2.4 dan 2.5.

Standarisasi elektroda, baik dalam JIS maupun dalam ASTM didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las. Walaupun dalam memberikan simbol agak berbeda antara kedua sistem standar tersebut, tetapi pada dasarnya adalah sama. Sebagai contoh misalnya huruf D dalam JIS (Tabel 2.4) dan huruf E dalam ASTM (Tabel 2.5), keduanya berarti bahwa elektrode yang dimaksud adalah elektrode terbungkus. Dua angka yang pertama baik pada JIS maupun ASTM menunjukkan kekuatan terendah dari logam las hanya saja dalam JIS satuannya adalah (kg/mm^2) sedangkan dalam ASTM satuannya adalah (psi). Dua angka terakhir dalam kedua sistem standar tersebut menunjukkan jenis fluks dan posisi pengelasan.

Tabel 2.4. Spesifikasi Elektrode terbungkus dari baja lunak (JIS Z 3211-1978)
(Thoshie Okumura, 1981)

Klasifikasi JIS	Jenis Fluks	Posisi Pengelasan *	Jenis Listrik **	Sifat mekanik dari logam las			
				Kekuatan tarik (kg/mm^2)	Kekuatan luluh (kg/mm^2)	Perpanjangan (%)	Kekuatan tumbuk (kg-m)
D4301	Ement	E, V, OH, H	AC atau DC (+)	≥ 43	≥ 35	≥ 22	$\geq 4,8(0^\circ\text{C})$
D4303	Titania-kapur	E, V, OH, H	AC atau DC (+)	≥ 43	≥ 35	≥ 22	$\geq 2,8(0^\circ\text{C})$
D4311	Selulosa tinggi	E, V, OH, H	AC atau DC (+)	≥ 43	≥ 35	≥ 22	$\geq 2,8(0^\circ\text{C})$
D4313	Oksida-Titani	E, V, OH, H	AC atau DC (+)	≥ 43	≥ 35	≥ 17	
D4316	Hydrogen rendah	E, V, OH, H	AC atau DC (+)	≥ 43	≥ 35	≥ 25	$\geq 4,8(0^\circ\text{C})$
D4324	Serbuk besi titanis	E, H-S	AC atau DC (+)	≥ 43	≥ 35	≥ 17	
D4326	Serbuk besi Hydrogen rendah	E, H-S	AC atau DC (+)	≥ 43	≥ 35	≥ 25	$\geq 4,8(0^\circ\text{C})$
D4327	Serbuk besi oksida	E, H-S	Untuk E, AC atau DC (+) Untuk H-S, AC atau DC (-)	≥ 43	≥ 35	≥ 25	$\geq 2,8(0^\circ\text{C})$
D4340	Khusus	Semua posisi	AC atau DC (+)	≥ 43	≥ 35	≥ 22	$\geq 2,8(0^\circ\text{C})$

Catatan: * Arti simbol: E = datar, V = vertikal, OH = atas kepala, H = horizontal, H-S = Las sudut horizontal;

** Arti simbol: (+) = polaritas tarik, (-) = polaritas lurus, (+) = polaritas ganda.

Tabel 2.5. Spesifikasi Elektrode terbungkus dari baja lunak (AWS A5.1-64T)
(Thoshie Okumura, 1981)

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi ^{a)} pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm ²						
E6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020	Oksida besi tinggi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
		F	AC atau DC polaritas ganda			
E6027	Serbuk besi, oksida besi	H-S	AC atau DC polaritas lurus	43,6	35,2	25
		F	AC atau DC polaritas ganda			
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm ²						
E7014	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah
E6010, E6011	
E6027, E7015	2,8 kg-m pada 28,9°C
E7016, E7018	
E7028	2,8 kg-m pada 17,8°C
E6012, E6013	
E6020, E7014	tidak disyaratkan
E7024	

^{a)} Arti simbol: F = datar
V = vertikal
OH = atas kepala
H = horizontal
H-S = horizontal las sudut




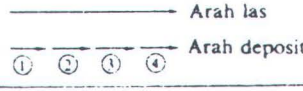
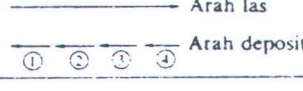
2.4.6 Teknik Pengelasan

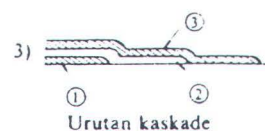
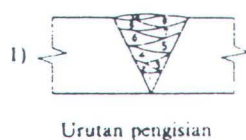
(1) Urutan deposit dan urutan pengelasan

Dalam pengelasan ada dua macam urutan, yaitu urutan menempatkan logam las cair pada alur las yang dinamakan urutan deposit dan urutan penyambungan yang dinamakan urutan pengelasan. Kedua urutan tersebut dilaksanakan dalam bermacam-macam cara dengan tujuan untuk mengurangi perubahan bentuk, tegangan sisa dan retak las. Beberapa macam pelaksanaan urutan diterangkan di bawah ini.

a. Urutan Deposit : Dalam pengelasan lapis tunggal urutan yang paling utama adalah urutan deposit dengan cara lurus, urutan balik, urutan simetri dan urutan loncat

Tabel 2.6 Urutan deposit
(Electric Slag Welding, 1967)

Klasifikasi	Pengelasan		Nama urutan
(a) Klasifikasi berdasarkan arah lasan	(1) Dari satu ujung ke ujung yang lain		lurus
	(2) Dari tengah ke kedua ujung		simetri
	(3) Meloncat		Loncat
(b) Klasifikasi berdasarkan arah las dan arah deposit.	Arah las sama dengan arah deposit		Maju
	(1)		
(c) Klasifikasi berdasarkan cara pengisian.	Arah las berlawanan dengan arah deposit		Balik
	(2)		
	(1) Urutan pengisian pada penampang tegak lurus garis las.		Urutan pengisian. ¹⁾ Manik tali Manik anyam
	(2) Urutan pengisian pada penampang sejajar garis las.	(1) Tiap lapisan menutup seluruh panjang.	Pelapisan ²⁾ seluruh panjang
		(2) Pengisian hanya pada tiap-tiap petak.	Petak ²⁾
		(3) Pengisian mulai dari tengah menuju ke kedua sisi	Kaskade ³⁾



yang kesemuanya didasarkan pada arah gerakan maju dari pengelasan. Dalam hal pengelasan lapis banyak urutan yang penting adalah urutan pengisian, urutan bertingkat, urutan petak dan lain - lainnya. Gambaran secara garis besar dari urutan deposit dapat dilihat dalam Tabel. 2.6.

1) Urutan lurus.

Dalam urutan ini pengelasan dimulai dari satu ujung hingga ke ujung lain dari sambungan dan biasanya digunakan pada las lapis tunggal, sambungan pendek dan pengelasan otomatis. Urutan ini memberikan efisiensi pengerjaan yang tinggi tetapi akan menyebabkan terjadinya tegangan sisa yang tidak simetri dan bila las ikatnya kurang kuat akan terjadi deformasi yang cukup besar.

2) Urutan balik

Dalam urutan ini pengelasan dimulai pada beberapa titik dan bergerak ke arah yang berlawanan dengan arah maju pengelasan. Dengan urutan ini akan terbentuk tegangan sisa yang merata dan regangan yang rendah, tetapi efisiensinya rendah.

3) Urutan simetri.

Urutan deposit ini dilaksanakan dengan membagi panjang sambungan ke dalam bagian-bagian yang sama kemudian pelaksanaan pengelasan pada bagian-bagian tersebut dengan urutan yang simetris terhadap pusat sambungan. Dengan urutan ini akan terbentuk deformasi dan tegangan sisa yang simetri.

4) Urutan loncat

Dalam urutan ini pengelasan dilaksanakan secara berselang pada seluruh panjang sambungan. Dengan urutan ini akan terjadi perubahan bentuk dan tegangan



sisanya yang merata. Kerugiannya adalah efisiensi kerja yang rendah dan banyak kemungkinan terjadi cacat las pada tiap-tiap permulaan dan akhir lasan.

5) Urutan pengisian.

Urutan ini sebenarnya adalah urutan lurus, yang dilaksanakan pada pengelasan lapis banyak. Dalam urutan ini juga akan dicapai efisiensi yang tinggi tetapi akan menyebabkan terjadinya retak pada lapisan pertama bila terjadi penahanan yang besar atau pengelasan pelat yang tebal.

6) Urutan kaskade

Urutan ini sebenarnya adalah urutan balik yang dilaksanakan pada las lapis banyak. Efisiensi pengelasan pada urutan ini rendah, tetapi karena sedikit sekali menimbulkan cacat maka sering dipakai dalam hal-hal khusus.

7) Urutan petak

Urutan ini dilaksanakan dengan mengelas suatu satuan panjang sambungan tertentu sampai pada lapisan las tertentu. Pelaksanaan ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya retak pada lapisan las akar.

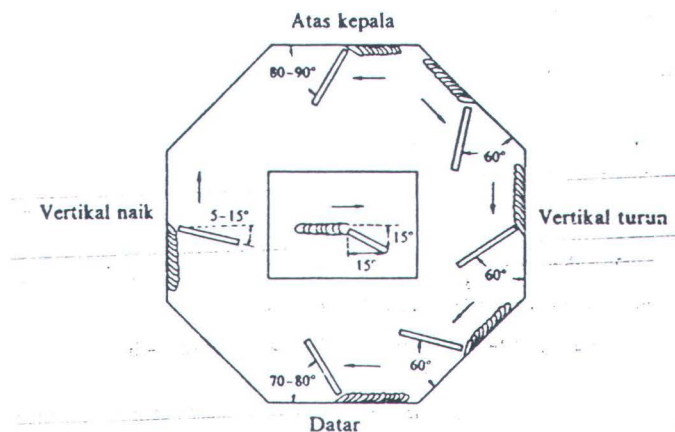
b. Urutan pengelasan : Sama halnya dengan urutan deposit, tujuan dari urutan pengelasan juga untuk mengurangi terjadinya deformasi dan tegangan sisa sejauh mungkin. Beberapa dasar pelaksanaan urutan adalah sebagai berikut :

- 1) Bila dalam satu bidang terdapat banyak sambungan, sebaiknya diusahakan agar penyusutan dalam bidang tersebut tidak terhalang.
- 2) Sambungan dengan penyusutan yang terbesar dilas lebih dahulu.
- 3) Pengelasan hendaknya dilaksanakan sedemikian rupa sehingga mempunyai urutan yang simetri terhadap sumbu netral dari konstruksi agar gaya-gaya konstruksi dalam keadaan seimbang.

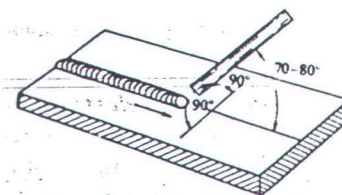
(2) Pergerakan elektrode dan penyalan busur listrik

a. Pergerakan elektrode : Cara menggerakkan elektrode banyak sekali, tetapi tujuannya adalah sama yaitu mendapatkan deposit logam las dengan permukaan yang rata dan halus serta menghindari terjadinya takikan dan pencampuran terak. Beberapa contoh gerakan elektroda ditunjukkan dalam tabel 2.7. Dalam hal ini yang penting adalah menjaga agar sudut elektroda dan kecepatan gerakan elektroda tidak berubah.

Dalam las tumpul besarnya sudut antara elektroda dan posisi pengelasan, seperti ditunjukkan dalam gambar 2.21. Sedangkan sudut antara elektroda dengan pelat induk pada arah melintang terhadap garis las harus 90° seperti terlihat dalam gambar 2.22. Dalam las sudut, sudut ke arah garis las sama dengan las tumpul tetapi sudut terhadap pelat induk pada arah melintang garis las berbeda. Untuk posisi pengelasan datar dan tegak besarnya sudut harus 45° dan untuk posisi atas kepala besarnya sudut adalah 30° .











Gbr 2.21 Sudut elektroda pada las tumpul.



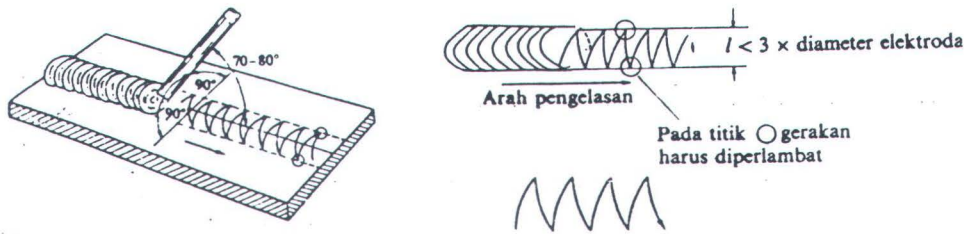
Gbr 2.22 Sudut elektroda pada las lurus.

Tabel 2.7 Dasar - dasar gerakan elektroda
(Thosie Okumura,1981)

Posisi	Jenis lasan		Gerakan elektroda
Datar	Las sudut horizontal		
	Las tumpul, lapisan pertama	Dengan kaki akar	
		Tanpa kaki akar	
	Las tumpul, lapisan akhir	Lapisan akhir yang umum	
		Dengan gerakan balik	
Vertikal	Las sudut dan las tumpul		
Atas kepala	Las sudut		
	Las tumpul		

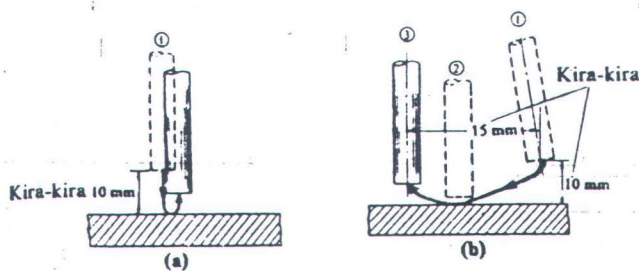
Beberapa kondisi standar dalam pengelasan dengan syarat - syarat tertentu seperti tebal plat, bentuk sambungan, jenis elektroda, diameter inti elektroda dan lain sebagainya, telah ada. Sudah tentu bahwa kondisi standar ini harus dilaksanakan secara seksama dan sesuai dengan keadaan tempat pengelasan bentuk dan ketelitian alur logam lasan elektrode.

Ujung elektroda biasanya harus digerakkan sehingga terjadi semacam ayunan atau lipatan manik las. Dalam hal ini lebar gerakan sebaiknya tidak melebihi tiga kali besarnya garis tengah elektrode seperti ditunjukkan dalam gambar 2.23. Disamping itu jarak lipatan atau ayunan diusahakan tetap.

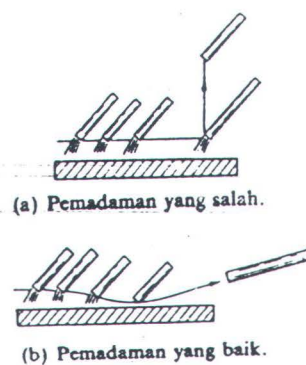


Gbr. 2.23 Gerakan ayunan elektrode
(Welding and Cutting, 1988)

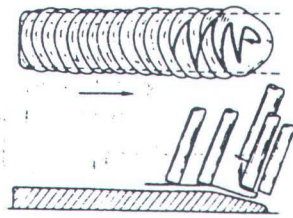
b. Penyalaan dan pemadaman busur listrik : Penyalaan busur listrik dapat dilakukan dengan menghubungkan singkat ujung elektroda dengan logam induk dan segera memisahkan lagi pada jarak yang pendek, seperti terlihat dalam Gbr. 2.24. Busur listrik akan padam dengan menjauhkan elektrode dari logam induk seperti yang terlihat dalam Gbr. 2.25. Cara pemadaman busur listrik ini mempunyai pengaruh terhadap mutu penyambungan manik las. Untuk mendapatkan sambungan manik las yang baik, sebelum elektrode dijauhkan dari logam induk sebaiknya panjang busur dikurangi lebih dahulu dan baru kemudian elektrode dijauhkan dengan arah yang agak miring. Pemadaman busur sebaiknya tidak dilakukan di tengah-tengah kawah las tetapi agak berputar sedikit seperti ditunjukkan dalam gambar 2.26. Penyalaan busur pada pengelasan lanjutan sebaiknya diarahkan ke depan dan pengelasannya harus dimulai dari kawah las sebelumnya seperti ditunjukkan dalam Gbr. 2.27



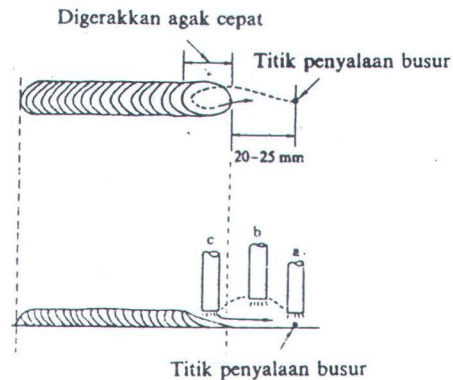
Gbr. 2.24 Cara penyalaan busur
(Welding and Cutting, 1988)



Gbr 2.25 Cara pemadaman busur.



Gbr 2.26 Cara pemadaman pada kawah.

Gbr 2.27 Cara penyalan busur pengelasan lanjutan.
(Toshi Okumura, 1981)

2.5 Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai degradasi mutu logam akibat reaksi elektrokimia atau reaksi kimia antara logam atau material dengan lingkungannya. Karena bereaksi dengan lingkungannya ini sebagian logam akan menjadi oksida, sulfida atau hasil reaksi lain yang dapat larut dalam lingkungannya. Dengan reaksi ini sebagian logam akan hilang menjadi suatu senyawa yang lebih stabil. Di alam logam pada umumnya berupa senyawa karena itu peristiwa korosi juga dapat dianggap sebagai peristiwa kembalinya logam menuju bentuknya sebagaimana ia terdapat di alam. Korosi pada logam atau pada material sering disamaartikan dengan karat (rust, Ing) pada besi, ada perbedaan mendasar untuk kedua jenis tersebut, meskipun sama - sama merusak kualitas material, tetapi cakupan untuk korosi lebih luas lagi. Saat korosi diartikan dengan karat, berarti saat itu pula muncul asumsi bahwa korosi

hanya menyerang pada besi atau campuran besi (ferrous alloy), sedangkan kerusakan pada material lain disebabkan oleh hal lain, contohnya kesalahan produksi, kesalahan packing, kesalahan pengecatan dan sebagainya (Committee on Tank Vessel Design, 1991).

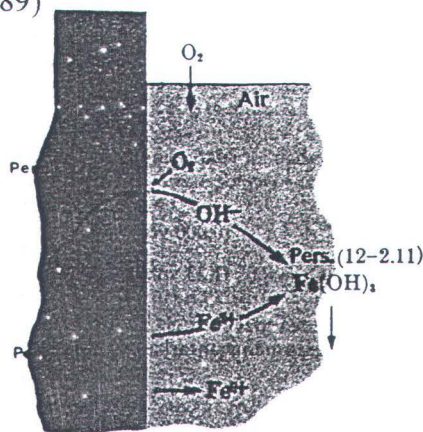
Dapat dijelaskan disini proses reaksi kimia dan elektrokimia sebagai penyebab dari korosi pada material. Korosi sebagai reaksi kimia murni adalah terjadinya korosi tanpa ikut sertanya elektron. Reaksinya dapat digambarkan pada reaksi besi yang dicelup kedalam asam klorida (HCl), dengan reaksi : (Uhlig, H.H., 1991)



2.5.1 Termodinamika korosi

Daya penggerak suatu logam untuk terkorosi, dapat diprediksi secara termodinamik dengan menghitung besar gaya elektromotif dari reaksi - reaksi sel elektrokimia yang diperkirakan akan terbentuk. Misalnya, dalam elektrolit asam yang telah dideoksidasi terjadi pelarutan besi secara serentak dengan pembentukan gas hidrogen dipermukaannya. (gambar 2.28 Pembentukan karat)

(M.G. Fontana 1989)



Gbr. 2.28 Pembentukan karat
(M.G. Fontana., 1989)



Korosi sebagai reaksi elektrokimia melibatkan muatan listrik pada daerah anodik dan katodik, reaksi ini dapat berlangsung bila elektron mengalir dari anodik ke katodik melalui elektrolit, dan aliran elektron hanya dapat terjadi bila ada perbedaan tegangan antara anodik dan katodik, proses korosi sebagai reaksi elektrokimia dapat disimak pada gambar 2.28. Karena proses peleburan besi dalam HCl sangat cepat maka gas hidrogen segera terbentuk dan dilepaskan sedangkan besi akan berikatan dengan klor membentuk FeCl_2 . Karena ion Cl^- tidak terlibat dalam reaksi, maka persamaan 2.10.1 dapat disederhanakan menjadi :



Persamaan (2.10.2) menunjukkan adanya reaksi anodik dan katodik, yaitu reaksi oksidasi besi Fe menjadi Fe^{2+} seperti pada persamaan (2.10.3) dan reaksi reduksi ion hidrogen H^+ menjadi H_2 seperti pada persamaan (2.10.4)

Reaksi oksidasi besi bersifat anodik (anode)



Reaksi reduksi ion hidrogen bersifat katodik (katoda)



Dengan melihat pada persamaan (2.10.3) dan (2.10.4) dapatlah diartikan bahwa suatu logam akan terkorosi bila pada permukaan logam terdapat daerah dengan sifat anodik

dan katodik. Reaksi anodik pada peristiwa korosi secara umum dapat dilukiskan sebagai berikut :



Sedangkan untuk kemungkinan reaksi - reaksi katodik selama proses korosi logam adalah :



3. Reaksi oksidasi (lingkungan asam) :



4. Reaksi oksigen (lingkungan netral atau basa) :



5. Reaksi ion logam :



6. Reaksi dengan logam :



Bila permukaan Fe kontak dengan air maka akan terjadi reaksi anodik dengan katodik mengikuti persamaan - persamaan diatas, sehingga terbentuk karat besi yaitu $2Fe(OH)_2$, dengan laju oksidasi sama dengan laju reduksi.

Pengertian anode dan katode di sel korosi adalah bahwa pada anode bermuatan negatif (-) sedangkan katode bermuatan positif (+), sehingga elektron bergerak dari anode ke katode. Hilangnya sebagian logam yang disebabkan oleh

adanya korosi ini mengakibatkan pula kerugian - kerugian lain yang lebih besar, antara lain :

- Hasil reaksi korosi yang menempel di permukaan logam sering mengakibatkan penampilan yang kurang sedap dipandang.
- Korosi yang menyebabkan hilangnya sebagian logam ini bisa menimbulkan kebocoran/kelonggaran yang berarti pula suatu peralatan tidak lagi dapat berfungsi dengan baik, sehingga perlu diganti.
- Korosi mengakibatkan berkurangnya kekuatan/ketangguhan sehingga dapat menimbulkan akibat yang lebih serius, misalnya robohnya suatu konstruksi, meledaknya suatu pipa/bejana bertekanan dll.
- Kerusakan pada suatu bagian peralatan seringkali dapat menghentikan seluruh proses produksi.
- Biaya perawatan peralatan untuk mencegah kerusakan akibat korosi sering kali juga tidak murah.
- Hasil reaksi korosi mungkin juga akan membuat pencemaran pada suatu produk, seperti misalnya makanan, minuman dll.

Melihat kerugian - kerugian yang mungkin ditimbulkan oleh korosi ini maka berbagai usaha dilakukan untuk dapat mencegah korosi, atau setidaknya mengantisipasi akibat yang ditimbulkan oleh korosi. Untuk itu perlu diketahui faktor - faktor apa yang berpengaruh, jenis - jenis korosi dan usaha - usaha apa yang dapat dilakukan untuk menaggulangi korosi.

2.5.2 Faktor - Faktor Dan Jenis - Jenis Korosi

Reaksi korosi pada dasarnya merupakan interaksi dari suatu logam/paduan dengan lingkungannya, sehingga dicari faktor - faktor yang mempengaruhi korosi dapat dicari dengan meninjau logamnya sendiri dan lingkungannya.

Faktor - faktor itu antara lain :

1. Jenis dan konsentrasi elektrolit.

Tidak semua elektrolit akan berpengaruh sama terhadap suatu logam/paduan. Demikian pula konsentrasinya, pada umumnya konsentrasi yang makin tinggi akan makin korosif.

2. Adanya oksigen terlarut pada elektrolit

Pada umumnya akan menaikkan laju korosi.

3. Temperatur.

Temperatur yang makin tinggi pada umumnya juga menaikkan laju korosi.

4. Kecepatan aliran/gerakan elektrolit.

Yang makin tinggi juga akan mempercepat kerusakan akibat korosi. Tetapi perlu diketahui bahwa pitting dan crevice corrosion justru terjadi pada elektrolit yang tidak mengalir.

5. Jenis logam/paduan.

Setiap logam/paduan akan bereaksi secara berbeda terhadap suatu elektrolit yang sama. Disamping itu perlu diketahui bahwa ada logam/paduan tertentu justru menjadi pasif (tidak bereaksi) bila kekuatan elektrolit melampaui batas tertentu. Baja karbon termasuk salah satu yang memiliki sifat pasifity ini. Asam sulfat encer sangat korosif terhadap baja karbon, makin tinggi konsentrasi asam sulfat makin korosif,

tetapi sampai suatu batas kepekatan tertentu baja karbon ini menjadi pasif, tidak lagi terkorosi oleh asam sulfat.

6. Adanya galvanik cell.

Baik itu pada logam yang berbeda maupun pada satu paduan.

7. Adanya tegangan (tarik)

Baik berupa tegangan sisa maupun tegangan kerja.

Sebenarnya peristiwa korosi sangat komplek, masih banyak faktor - faktor lain yang harus diperhitungkan. Dilihat dari bentuknya korosi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok, yaitu :

1. Uniform corrosion.

Yaitu korosi yang terjadi pada seluruh permukaan logam/paduan yang bersentuhan dengan elektrolit, dengan intensitas sama. Korosi jenis ini mungkin yang paling banyak menghilangkan logam, tetapi justru yang paling tidak berbahaya, karena kerusakan yang ditimbulkan sudah dapat diperhitungkan dan diantisipasi. Juga mudah dideteksi, ini adalah korosi yang sering dijumpai pada baja karbon oleh atmosfer atau lingkungan korosif lain.

2. Galvanik corrosion.

Terjadi bila dua logam yang berbeda berada dalam satu elektrolit. Dalam keadaan ini logam yang kurang mulia (lebih anodik) akan terkorosi, bahkan lebih hebat daripada bila ia tidak bersama logam lain itu. Sedangkan logam yang lebih mulia akan terlindungi dari korosi.

3. Crevice corrosion.

Terjadi pada celah - celah yang sempit. Pada celah terjadi concentration cell, sehingga terjadi korosi.

4. Pitting.

Merupakan korosi yang terlokalisir pada suatu atau beberapa titik dan mengakibatkan terjadinya lubang kecil yang dalam. Korosi seperti ini sangat berbahaya karena sulit diperhitungkan dan dideteksi. Kerusakan yang ditimbulkan dapat terjadi secara tiba - tiba, tanpa ada tanda tanda. Disamping itu korosi ini justru terjadi pada logam yang dikenal tahan korosi, seperti aluminium, stainless steel dll.

5. Intergranular corrosion.

Korosi yang terjadi pada batas butir. Batas butir - butir seringkali merupakan tempat mengumpulnya impurity atau suatu presipitat, juga daerah yang lebih tegang, karenanya tidak tertutup kemungkinan untuk terjadinya korosi pada batas butir. Korosi ini juga sangat berbahaya, karena akan sangat menurunkan kekuatan/ketangguhan dan sulit dideteksi, sehingga kerusakan dapat terjadi tanpa diketahui tanda - tanda akan terjadinya korosi.

6. Stress corrosion.

Yaitu korosi yang timbul sebagai akibat bekerjanya tegangan dan media yang korosif. Korosi ini menyebabkan terjadinya keretakan. Tegangan adalah tegangan tarik yang dapat berupa tegangan sisa.

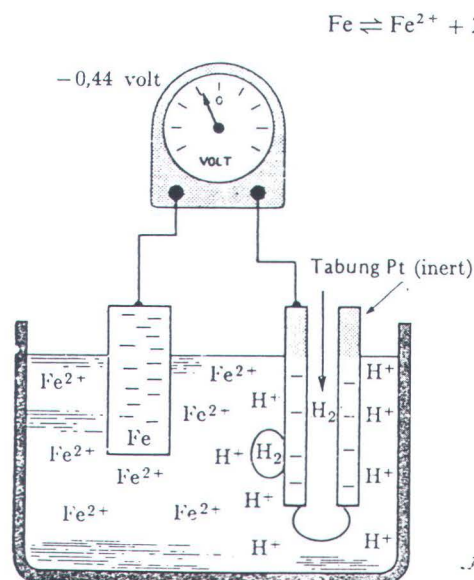
7. Erosion corrosion.

Korosi yang dipercepat oleh adanya erosi yang ditimbulkan oleh adanya gerakan cairan. Ini terjadi misalnya pada sudu - sudu pompa, pada pipa terutama pada belokan dan bagian - bagian lain dimana ada kecepatan aliran yang tinggi atau turbulensi.

2.5.3 Perhitungan Laju Korosi

Pada tabel 2.8 terlihat bahwa, Aluminium lebih anodik dibandingkan dengan besi, mengapa korosinya lebih kurang dibandingkan dengan besi ?. Mengapa khrom dapat meningkatkan daya tahan korosi dalam baja tahan karat bila potensial elektrodanya 0.3 volt lebih rendah dari pada besi ?. untuk dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan ini, kita harus mempertimbangkan faktor - faktor yang mempengaruhi rapat arus.

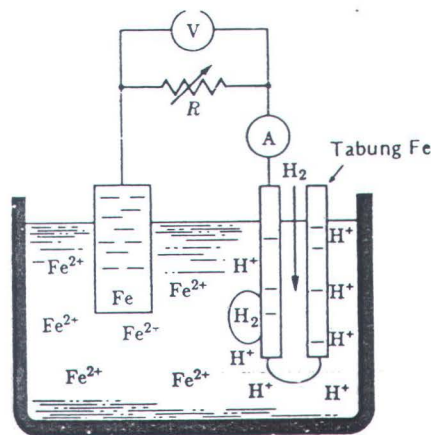
Rapat arus. Rangkaian terbuka antara anoda besi dan katoda hidrogen (Gbr. 2.29) menghasilkan perbedaan potensial elektroda sebesar -0.44 volt dalam keadaan standar. (tabel 2.8). Kita seolah - olah mempunyai baterai yang dapat menghasilkan arus bila kedua elektroda tersebut dihubungkan dalam rangkaian. Dengan sendirinya, perbedaan potensial akan berkurang bila keduanya dihubungkan (Lawrence 1985).



Gbr. 2.29 Perbedaan potensial Fe - H₂
(Corrosion Mechanism in Theoty and Practice, 1995)



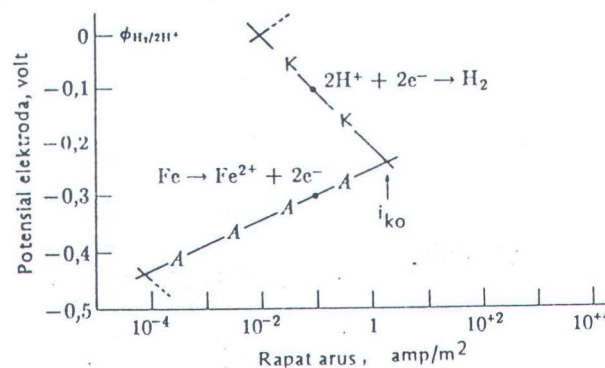
Pada gambar 2.30. memberikan penampilan yang lain dari gambar 2.29, disini ditempatkan tahanan yang dapat diubah ubah dan tabung besi sebagai katoda hidrogen. Percobaan membuktikan bahwa bila kedua dihubungkan langsung ($R=0$) maka rapat arus i pada elektroda adalah 2 amp/m^2 , yaitu arus i (diukur dengan ampermeter) persatuan luas. Besaran ini disebut rapat arus korosi, i_{kor} . Dengan sendirinya perbedaan potensial antara kedua elektrode, $\Delta\phi'$ menjadi 0 V bila terdapat hubungan langsung. Dengan bertambahnya tahanan, perbedaan potensial meningkat sehingga $\Delta\phi = -0.44 \text{ V}$ bila $R = \infty$ sebagaimana tampak pada gambar 2.29.



Gbr 2.30 Pengukuran rapat arus
(Zbigniew D., 1959)

Ahli korosi menggunakan Gbr. 2.31 untuk memperlihatkan hubungan antara rapat arus dan perbedaan potensial. Meskipun kita dapat menyusun hubungan antara rapat arus dan perbedaan potensial. perhatian kita tertuju pada kedua kurva. Kurva K

berlaku untuk katoda dan kurva A berlaku untuk anoda. Kedua kurva tersebut biasanya berpotongan pada 2 amp/m^2 (dengan elektrode hidrogen dan besi dan pada keadaan standar). Pada $\Delta\phi = 0.2 \text{ V}$ (titik pada gambar 2.31), rapat arus turun sampai 0.1 amp/m^2 (Lawrence 1985).



Gbr. 2.31 Kurva rapat arus dan beda potensial
(Lawrence H., 1985)

2.5.3.1 Metode perhitungan laju korosi

Korosi sulit untuk dapat disimak perkembangannya, tetapi dapat diukur dengan laju korosinya (corrosion rate) lebih tepatnya disebut laju pengausan (wastage rate) yang menyatakan laju hilangnya logam baik dalam satuan volume maupun satuan massa, sifat logam tersebut adalah logam anodik sebab logam katodik tidak mungkin dapat diukur laju keausannya, karena tidak mengalami degradasi volume maupun masa. Banyak cara untuk menghitung laju keausan salah satunya cara akan digunakan disini yaitu metode celup atau metode kehilangan berat, dinyatakan dalam satuan MPM (milimeter per month) yang kemudian dikonversi ke dalam satuan CR

(corrosion rate) mm/year. (Annual Book of ASTM Standards.,1994)

Laju keausan dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{MPM} = \frac{7280.W}{\rho.A.t}$$

dimana :

W= kehilangan berat (gram)

ρ = Berat jenis sample (gr/cm³)

A = Luas sample (Cm²)

t = Waktu pengujian (jam)

MPM dalam satuan milimeters per month

Sesuai dengan formula dari ASTM Standards, Vol 03.02, Sec. 3, 1994,

diperoleh

MPM x 1,39 x density = gr/m².h (gram per meter persegi.jam)

MPM x 12 = mm/year (milimeters per year)

MPM x 472 = miliinch per year (Mpy)

Untuk corrosion current density diperoleh dari formula :

$$CR = \frac{K_1 \times I_{corr} \times EW}{\rho}$$

dimana CR = laju korosi (mm/year)

K_1 = konstanta (327,2 mm.kg/mA.y)

EW = Equivalen Weight (sampel)

ρ = berat jenis sampel kg/ m³

I_{corr} = corrosion current density (mA/m²)

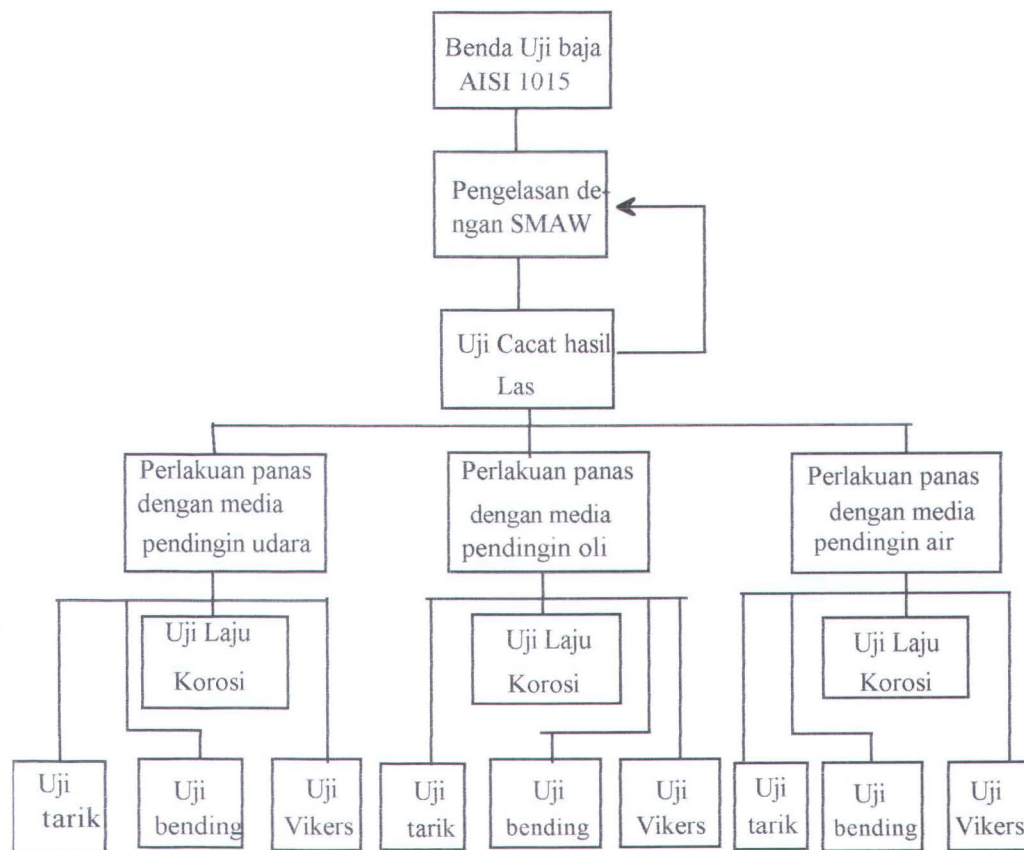
BAB III

PROSEDUR PENELITIAN

Pengujian untuk logam pada umumnya dapat dibagi dalam pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak pada konstruksi las adalah pengujian terhadap model dari konstruksi atau pada batang uji yang telah dilas dengan cara yang sama dengan proses pengelasan yang akan digunakan sampai terjadi kerusakan pada model konstruksi atau batang uji. Sedangkan pada pengujian tak merusak dilakukan dengan tanpa merusak bagian konstruksi yang diuji, pengujian-pengujian yang termasuk dalam kelompok ini adalah pengujian untuk mengetahui cacat, baik cacat luar ataupun cacat dalam.

3.1 Diagram Prosedur Penelitian

Penelitian ini merupakan studi eksperimental yang dilakukan di laboratorium konstruksi dan kekuatan, laboratorium produksi dan laboratorium CNC Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Sebagai sebuah benda uji dipergunakan baja AISI 1015 yang geometrinya akan ditentukan kemudian, yang disesuaikan dengan standard pengujian yang ada. Tahap penelitian yang meliputi pengelasan benda uji baja AISI 1015 dan pengujian sifat mekanis serta laju korosi ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini.



Gbr. 3.1 Diagram prosedur penelitian

3.2. Material Dasar

Material dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI 1015, dengan data - data sebagai berikut :

a. Komposisi :

C = 0.15 % Fe = 98.93 %

Mn = 0.35 % P = 0.04 %

S = 0.05 %

(Sumber; Hand book of comparative word steel standards)

b. Kekuatan tarik (Tensile strength) :61.000 Psi

c. Kekuatan luluh (Yield strength) :45.500 Psi

d. Kekerasan :126 Bhn

3.3 Persiapan Benda Uji

Ukuran pelat yang digunakan dalam penelitian ini 300 x 250 mm dengan ketebalan 10 mm sebanyak 3 lembar kemudian dilakukan pengelasan dengan SMAW dan dibuat benda uji tarik, uji kekerasan, uji bending dan uji korosi.

3.3.1. Prosedur Pengelasan

- a. Pemotongan material sesuai ukuran dengan mesin potong.
- b. Pembentukan V groove pada sisi material yang akan di las dengan mesin freis.
- c. Pemberian material tambahan pada kedua sisi bahan yang akan dilas dengan tujuan sebagai awalan proses penyalaan busur, agar pada saat busur mengenai material yang disambung gerakan pengelasan sudah stabil.
- d. Melakukan las kancing pada material yang akan disambung.
- e. Pengelasan

3.4 Uji Deteksi Cacat Radiografi

Pengujian radiografi sinar X ini digunakan untuk mendeteksi adanya cacat pada hasil las. Cacat tersebut dapat berupa retakan (crack), cacat gas (blow hole) atau penetrasi yang tidak sempurna pada pengelasan. Sinar-X dapat dihasilkan dengan menumbukkan elektron yang dilepaskan oleh katoda pada anoda di dalam

suatu tabung hampa udara. Sifat - sifat sinar-X yang dihasilkan sangat tergantung dari pada tegangan dan arus dari tabung, makin tinggi tegangannya makin besar daya tembus dari sinar-X yang dihasilkan. Sedang arus yang besar akan mempertinggi intensitas dari sinar-X.

3.4.1. Prosedur deteksi cacat radiografi " Sinar-X"

a. Alat dan bahan yang digunakan.

1. Film

Yang digunakan untuk membuat gambar dari bagian yang diuji. Untuk keperluan ini kita menggunakan : Fuji 400-4x15 inch (Toshi Okumura., 1991)

2. Penetrameter

Yang digunakan untuk mengukur penembusan sinar-X, Untuk keperluan ini kita menggunakan standard JIS Z 5104 yaitu :

- Klasifikasi : F02
- Ukuran diameter kawat (mm) : 0.1, 0.125, 0.16, 0.2, 0.25, 0.32, 0.4
- Jarak sumbu kawat D (mm): 3
- Panjang kawat L (mm) : 40

3. Kontrasmeter

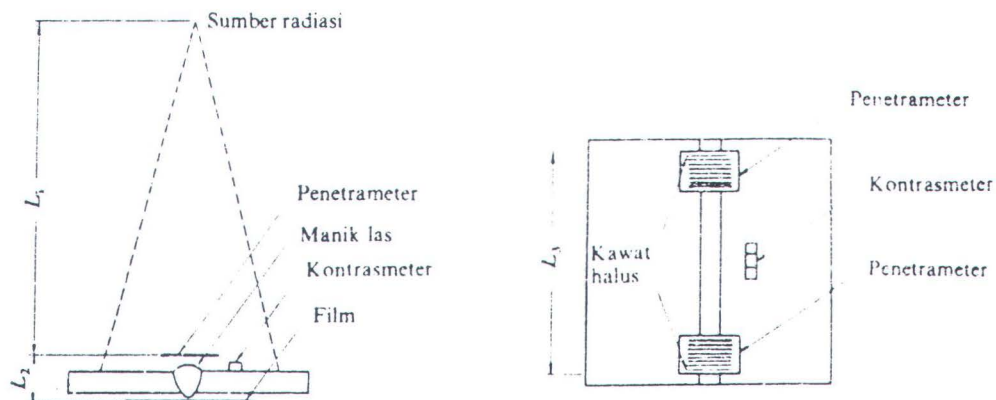
Yaitu untuk mengukur ketajaman perbedaan sinar-X. Kontrasmeter yang kita gunakan yaitu JIS G 3101.

4. Alat uji Sinar-X (Transformator)

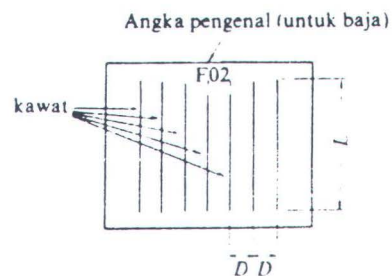
5. Benda uji

b. Proses penyinaran dengan Sinar-X

1. Setelah peralatan pada poit "a" sudah disiapkan maka alat - alat disusun seperti pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gbr. 9.8 Susunan dalam pengujian radiografi.



Gbr. 3.2 Susunan alat dalam pengujian Sinar-X
(The Testing of Engineering Materials)

2. Tegangan 125 KV.
3. Waktu penyinaran 3.75 menit
4. Arus tabung 8 mA

3.5. Pelaksanaan Proses Perlakuan Panas

3.5.1. Proses pemanasan

- Dapur pemanas menggunakan Furnace mode
- Temperature range sampai dengan 2000 °C
- Tegangan : 220 V
- Arus maksimum : 40 Ampere
- Temperatur pemanasan material dilakukan sampai 500 °C
- Waktu penahanan : 30 menit

3.5.2. Proses pendinginan

Proses pendinginan dilakukan pada 3 (tiga) jenis media pendingin, yaitu :

- Air (A) Suhu air = 30 °C
- Oli (O) Suhu oli = 30 °C
- Udara (U) Suhu udara = 30 °C (suhu ruang normal)

Pada tahap selanjutnya, sisi atas dan sisi bawah benda uji yang telah mengalami pengelasan dipotong selebar 25 mm. pemotongan ini bertujuan untuk menghilangkan bekas las kancing. Dengan demikian ukuran benda uji menjadi 275 mm x 250 mm x 10 mm dan mempunyai volume 0.625 liter. Sedangkan media pendingin air dan media pendingin oli type MESRAN SAE 40 masing - masing mempunyai volume 3 liter. Didalam penelitian ini, laju pendinginan tidak dilakukan pengamatan, tetapi pendinginan dilakukan sampai suhu kamar 30 °C.



3.6. Uji tarik

Pengujian tarik dilaksanakan dengan maksud untuk mendapatkan informasi dari beberapa sifat benda uji antara lain :

a. Kekuatan tarik (Tensile Strength)

Merupakan kemampuan dari sambungan las untuk menerima beban tarik, besarnya didasarkan pada hasil bagi antara gaya maksimum dan luas penampang mula.

$$\sigma_{TS} = \frac{F}{A_0}$$

dimana :

σ_{TS} = Kekuatan tarik (Kg/mm²)

F = Beban pada awal terjadinya necking

A_0 = Luas penampang

b. Kekuatan luluh (Yield Strength)

Merupakan ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastik, besarnya didasarkan pada hasil bagi antara gaya luluh dan luas penampang mula. Untuk logam - logam yang ulet terkadang pada kurva tarik - regangan tidak nampak titik luluh yang jelas. Pada keadaan ini kekuatan luluh adalah tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan regangan plastis sebesar 0.2 %. Hal ini sering disebut proof stress, yang berguna untuk menyatakan karakteristik yield material yang mengalami yield secara gradual dan tidak menunjukkan titik yield yang nyata.

$$\sigma_y = \frac{F}{A_0}$$

dimana :

σ_y = Kekuatan luluh (Kg/mm²)

F = Beban pada awal terjadinya aliran plastis (Kg)

A₀ = Luas penampang (mm²)

c. Keuletan (ductility)

Merupakan besarnya regangan permanen sebelum perpatahan, yaitu bagian yang putus disatukan dan diukur :

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

dimana :

l₀ = panjang awal benda uji

l = panjang akhir (bagian yang disatukan) benda uji

ε = regangan plastis (strain)

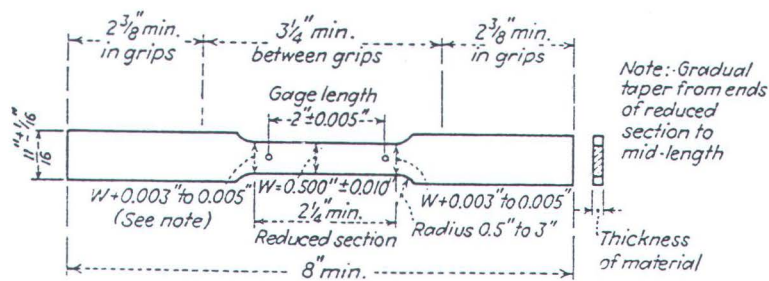
3.6.1. Standar benda uji tarik

Standar benda uji tarik didasarkan pada standard ASTM E 8 dengan ketentuan seperti pada gambar 3.3.

3.6.2. Prosedur uji tarik

- Tiga lembar benda uji sambungan las yang telah mengalami perlakuan panas dengan dengan tiga variable jenis media pendingin tersebut dibentuk sesuai dengan ukuran standard ASTM E 8.

- Satu persatu benda uji di klem ke mesin tarik dimana logam las harus ditengah antara dua chuk mesin tarik tersebut dan dipasang kertas grafik pada tempatnya.
- Mesin tarik dijalankan sampai benda uji patah
- Prosedur ini dilakukan tiga kali untuk benda uji yang sama.



Gbr. 3.3 Standar benda uji ASTM E 8

3.7. Uji kekerasan

Tujuan dari uji kekerasan ini adalah untuk memperoleh data kekerasan dari benda uji. Kekerasan merupakan ketahanan bahan terhadap penetrasi. Pada prinsipnya bahan yang lebih keras akan mampu mengadakan penetrasi pada bahan yang lebih lunak. Alat pengujian kekerasan (hardness tes) mempunyai mata berlian atau bola baja khusus, disebut indenter, yang ditekan pada permukaan benda uji. Semakin dalam indenter tersebut masuk ke dalam benda uji berarti semakin lunak benda uji tersebut dan semakin rendah yield strength-nya.

Metode : uji kekerasan vickers

Beban : 1 Kg

Sudut puncak indenter piramida intan : 136°

Besarnya angka kekerasan :

$$HVN = \frac{2P \cos(22^{\circ})}{d_1 \cdot d_2}$$

$$HVN = 1.8544 \times \frac{P}{\bar{d}}$$

dimana :

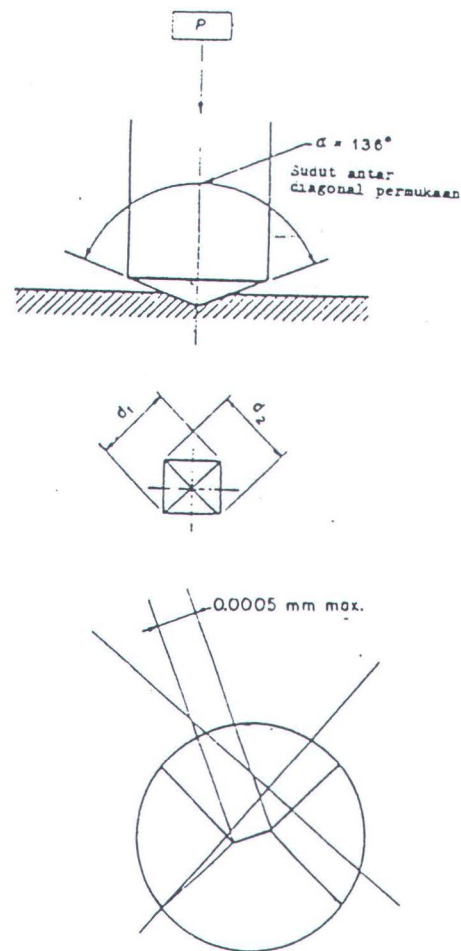
HVN = Angka kekerasan vickers

P = Beban (1 Kg)

$d_{1,2}$ = Diagonal identasi (mm) dan \bar{d} = diagonal rata-rata

3.7.1. Prosedur uji kekerasan vickers

- Persiapan benda uji dengan penghalusan pada benda uji, dilakukan proses grinding dan polishing.
- Meletakkan benda uji pada mesin uji kekerasan vickers dan melakukan pengaturan posisi fokus dari butir benda uji pada layar yang ada (dengan mengatur tinggi rendah meja uji).
- Melakukan penetrasi piramid intan terhadap benda uji.
- Pengukuran diagonal identasi pada layar (d_1 dan d_2)
- Perhitungan diagonal identasi rata - rata dan dilakukan pembacaan pada tabel kekerasan.



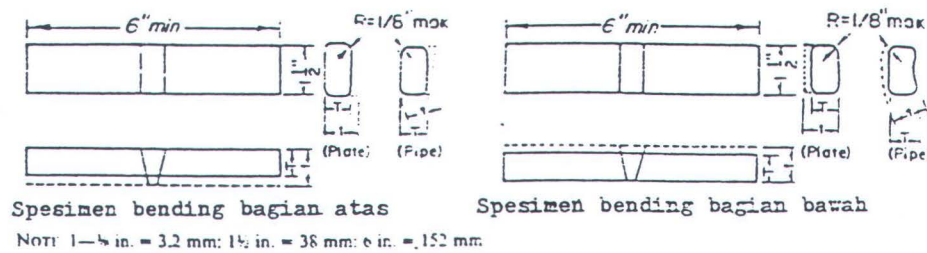
Gbr. 3.4. Idendor uji kekerasan vickers
(The Testing of Engineering Materials)

3.8. Uji bending

Pengujian bending bertujuan untuk mengetahui keuletan dan ketangguhan hasil pengelasan. Pengujian bending dilakukan dengan " transverse face bend", yaitu membengkokkan dari sisi atas dari bidang manik las.

3.8.1. Standar benda uji bending

Standar benda uji didasarkan pada standar ASTM E 190 - 180 dengan ketentuan seperti pada gambar di bawah ini.

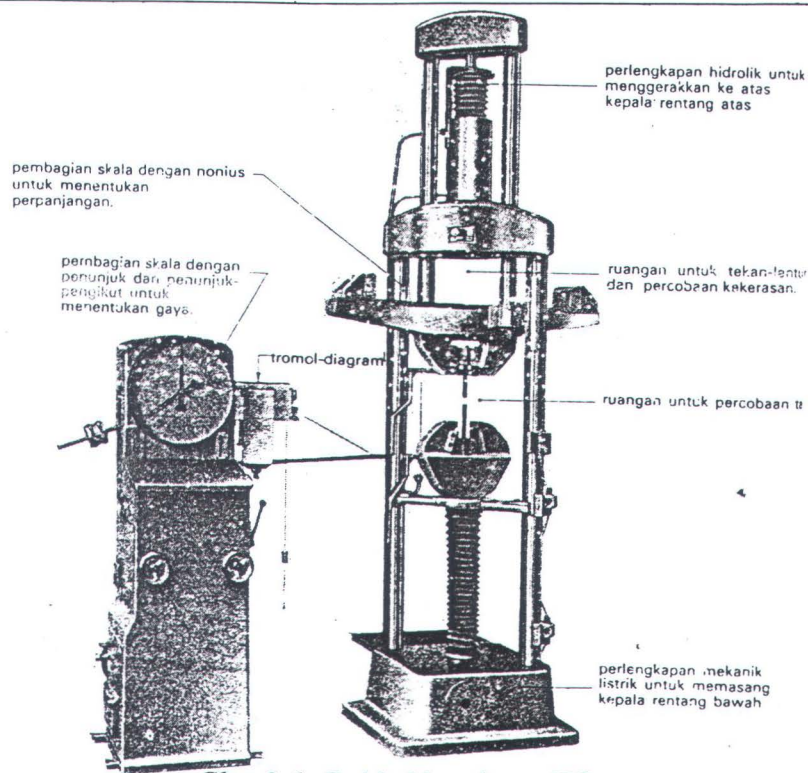


Gbr. 3.5. Standar benda uji ASTM E 190-180.

3.8.2. Prosedur uji bending

- Tiga lembar benda uji sambungan las yang telah mengalami perlakuan panas dengan ukuran standar ASTM E 190 - 180
- Kemudian dilakukan penghalusan pada benda uji dengan cara memotong bagian las yang menonjol, sehingga sama tinggi dengan permukaan logam induk. Cara pemotongan dengan proses Grinding dan polishing.
- Benda uji diletakkan pada die dengan bagian logam las terletak tepat di tengah - tengah jarak tumpuan. Untuk benda uji "face bend", sisi permukaan atas diletakkan ke arah gab, sedangkan untuk benda uji "root bend" sisi permukaan akar diletakkan ke arah gap dari "JIG".

Benda uji diletakkan ke arah die dengan menggunakan plunyer, sampai membentuk huruf "U". Selama penekanan plunyer berlangsung, benda uji tidak boleh bergerak ke arah samping, agar konsentrasi tegangan tepat mengenai daerah las.



Gbr. 3.6. Guided bend test JIG
(The Testing of Engineering Materials)

3.9. Uji Laju korosi

3.9.1 Peralatan.

Dalam pengujian ini peralatan yang diperlukan antara lain :

1. Timbangan digital, digunakan untuk menimbang pelat baja AISI 1015 sebagai benda uji. Penimbangan dilakukan sebelum dan sesudah pengujian.
2. Penjepit buaya digunakan untuk menjepit pelat baja AISI 1015 sebagai anoda dan platina sebagai katoda.
3. Kertas gosok grade 280, 400, 600, 800, 1000, 1200.
4. Gelas weker 300 ml

3.9.2 Bahan yang digunakan.

Bahan untuk penelitian dari laju keausan dapat dibagi dua yaitu :

1. Bahan sebagai media pengkorosif berfungsi untuk membuat bahan logam uji menjadi terkorosi, dalam hal ini kita memakai larutan NaCl 0.1 N
2. Media korosif yaitu benda uji kita " Baja AISI 1015 " dengan dimensi 20 x 20 x 10 mm yang akan diukur laju korosinya.

3.9.3 Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan untuk uji laju keausan dapat dibagi dalam beberapa tahapan, masing - masing tahap mempunyai prosedur berbeda tergantung pada tahapan tersebut, hal ini dimaksudkan untuk mempermudah memperoleh data guna menghitung laju korosi, tahapan tersebut adalah :

1. Tahap persiapan specimen

Merupakan tahapan awal dari percobaan, langkah - langkah selama tahap persiapan specimen sebagai berikut :

- Pembuatan specimen untuk bahan uji yaitu baja AISI 1015 sejumlah 9 buah terdiri dari 3 buah hasil pendinginan dengan oli, 3 buah hasil pendinginan dengan udara, 3 buah hasil pendinginan dengan air.
- Menghaluskan permukaan pelat baja tersebut dengan menggunakan kertas gosok SiC grade : 280, 400, 600, 800, 1000 dan 1200 sampai mengkilap, kemudian dicuci hingga bersih.
- Menimbang masing - masing specimen menggunakan timbangan digital dalam satuan gram.
- Specimen siap uji.

2. Tahap persiapan larutan

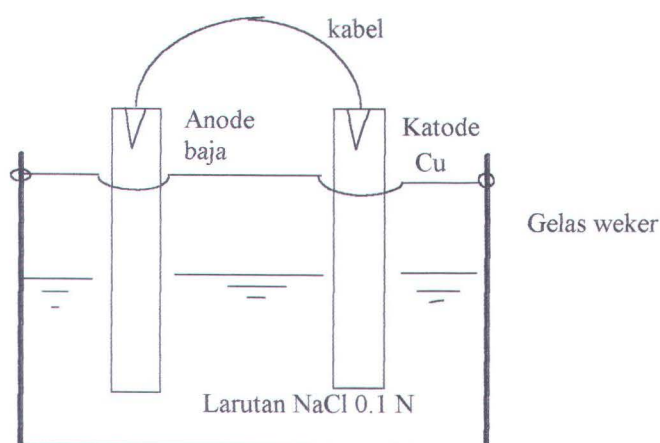
Merupakan tahapan kedua, saat larutan sebagai media pengkorosif disiapkan untuk membuat kondisi sebagai logam dapat terkorosi, langkah - langkah dalam tahap ini adalah :

- Membuat larutan NaCl 0.1 N dalam tiga pot masing - masing 300 ml.
- Larutan siap menjadi media pengkorosif.

3. Tahap persiapan peralatan

Merupakan tahap ketiga, saat peralatan untuk pengujian harus disiapkan sesuai standard yang dipakai (Annual Book of ASTM Standard part 10, volume 03. 02, 1994) dengan langkah - langkah sebagai berikut :

- Membuat rangkaian alat untuk pelat baja sebagai anode dan Cu sebagai katode seperti pada Gbr. 3.7.
- Rangkaian alat seluruhnya berjumlah 3 buah.
- Masing - masing pot diisi label untuk waktu 12 jam, 24jam, 48 jam.
- Peralatan siap digunakan
- Langkah a sampai d dilakukan untuk sampel yang lain.



Gbr. 3.7. Pengukuran laju korosi

BAB IV

HASIL EXPERIMEN

4.1. Hasil Pengujian Cacat Las

Pengujian cacat las dengan menggunakan deteksi Sinar-X yang dilakukan ternyata benda uji hasil las tidak mempunyai cacat dalam, retak dan cacat las lainnya (blow hole). Penyinaran dengan Sinar-X menggunakan film dengan ukuran 4 x 15 inch untuk tebal plat 10 mm dengan waktu penyinaran 3.75 menit dengan tegangan 125 KV dan arus 8 mA.

4.2. Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik (tension) dilaksanakan di laboratorium konstruksi dan kekuatan FTK-ITS dengan menggunakan testing machine. Dari hasil uji tarik, data yang diperoleh berupa tabel dan grafik terlampir pada lampiran 7 sampai dengan lampiran 15. Dari hasil pengujian didapatkan :

- Untuk media pendingin air, benda uji mempunyai kekuatan tarik (tensile strength) dan kekuatan luluh (yield strength) yang paling tinggi yaitu 50.15 kg/mm² dan 38.19 kg/mm².

- Untuk media pendingin oli, benda uji mempunyai kekuatan tarik (tensile strength) 48.66 kg/mm² dan kekuatan luluh (yield strength) 33.98 kg/mm².
- Untuk media pendingin udara, benda uji mempunyai kekuatan tarik (tensile strength) 46.48 kg/mm² dan kekuatan luluh (yield strength) 32.21 kg/mm².

4.3. Hasil Uji Bending

Pengujian kekuatan bending dilakukan dari satu sisi, yaitu dari sisi sebelah atas (face bending). Dari hasil uji bending yang dilakukan dengan menggunakan testing machine. Batang uji yang telah dibentuk sesuai standard ASTM dilentur antara dua rol dengan perantaraan stempel sehingga tercapai sudut lentur 180⁰, kemudian benda uji diamati dengan menggunakan Lup (kaca pembesar) dari hasil pengamatan tidak ditemukan cacat keretakan yang berarti. Hasil dari foto uji bending selengkapnya pada lampiran 4 sampai dengan 6.

4.4. Hasil Uji Kekerasan

Dari hasil uji kekerasan Vickers yang telah dilakukan di Laboratorium PT. PAL Indonesia, diperoleh data kekerasan di daerah las, HAZ dan logam induk yang diperlihatkan berupa tabel dan garfik pada lampiran 16 sampai dengan lampiran 21.

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan :

- Untuk media pendingin udara rata - rata kekerasan pada weld metal adalah 131 HV.

- Untuk media pendingin oli rata - rata kekerasan pada weld metal adalah
132.33 HV
- Untuk media pendingin air rata - rata kekerasan pada weld metal adalah
134.67 HV.

4.5. Hasil Uji Korosi

Pengujian Korosi telah dilakukan di Laboratorium kimia MIPA-ITS, hasil uji korosi berupa tabel dan grafik pada lampiran 22 sampai dengan lampiran 30.

- Untuk media pendingin udara didapatkan laju korosi rata-rata untuk tiga kali pengujian adalah 21.0185 Mpy.
- Untuk media pendingin oli didapatkan laju korosi rata-rata untuk tiga kali pengujian adalah 19.83 Mpy.
- Untuk media pendingin air didapatkan laju korosi rata-rata untuk tiga kali pengujian adalah 17.07 Mpy.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Metode Analisa Data

Dari eksperimen yang telah dilaksanakan didapatkan beberapa data dari masing masing sampel yang digunakan. Statistik induktif adalah proses memperoleh informasi dari data sampel yang digunakan untuk menarik kesimpulan tentang populasi dari sampel yang dipilih. Statistik induktif yang kita gunakan dalam menganalisa data dari eksperimen ini adalah *estimasi parameter*. Kita akan menggunakan metode untuk memperoleh estimasi tunggal parameter, seperti rata-rata dan deviasi standar. Juga akan dihitung perkiraan interval parameter yang disebut interval keyakinan.

Dalam beberapa keadaan, sebuah perkiraan tunggal tidak memberikan cukup penjelasan tentang parameter yang menarik. Jadi jika kita ingin memperkirakan kekuatan tarik suatu baja, sebuah bilangan tunggal mungkin tidak mempunyai arti. Sebuah perkiraan interval dengan bentuk $L \leq \mu \leq U$ mungkin lebih berguna. Titik akhir interval ini adalah variabel random, karena perkiraan tersebut adalah fungsi data sampel.

Pada umumnya untuk membuat suatu estimator interval parameter tidak diketahui “ μ “ , kita harus tentukan dulu statistik L dan U sebagai berikut

$$P\{L \leq \mu \leq U\} = 1 - \alpha \quad 5.1$$

interval yang dihasilkan adalah :

$$L \leq \mu \leq U \quad 5.2$$

disebut sebuah interval keyakinan $100(1 - \alpha)$ persen untuk parameter μ tidak diketahui. L dan U disebut batas keyakinan bawah dan atas, dan $1 - \alpha$ disebut koefisien keyakinan. Metode ini digunakan untuk memperoleh interval $[L, U]$ yang menghasilkan pernyataan teliti $100(1 - \alpha)$ persen pada suatu waktu.

Misalkan X variabel random dengan rata-rata μ tidak diketahui, dan varian σ^2 diketahui, serta misalkan sebuah sampel random yang besarnya n , X_1, X_2, \dots, X_n diambil. Sebuah interval keyakinan $100(1 - \alpha)$ persen pada μ dapat diperoleh dengan mempertimbangkan distribusi sampling rata - rata sampel \bar{X} . Rata - rata \bar{X} adalah μ dan variannya adalah σ^2/n . oleh sebab itu distribusi dari statistiknya :

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad 5.3$$

yang digunakan sebagai distribusi normal standar, sehingga :

$$P\{-Z\alpha/2 \leq Z \leq Z\alpha/2\} = 1 - \alpha \quad 5.4$$

atau

$$P\left\{-Z\alpha/2 \leq \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \leq Z\alpha/2\right\} = 1 - \alpha \quad 5.5$$

ini dapat disusun kembali seperti

$$P\left\{\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}\right\} = 1 - \alpha \quad 5.6$$

dengan membandingkan persamaan (5.1) dan (5.6), kita lihat bahwa interval keyakinan dua arah $100(1 - \alpha)$ persen pada μ adalah :

$$\left\{\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}\right\} \quad 5.7$$

selanjutnya persamaan (5.7) di atas akan kita gunakan untuk menghitung tingkat kepercayaan data pada masing-masing pembahasan hasil uji.

5.2 Pembahasan Hasil Uji Tarik

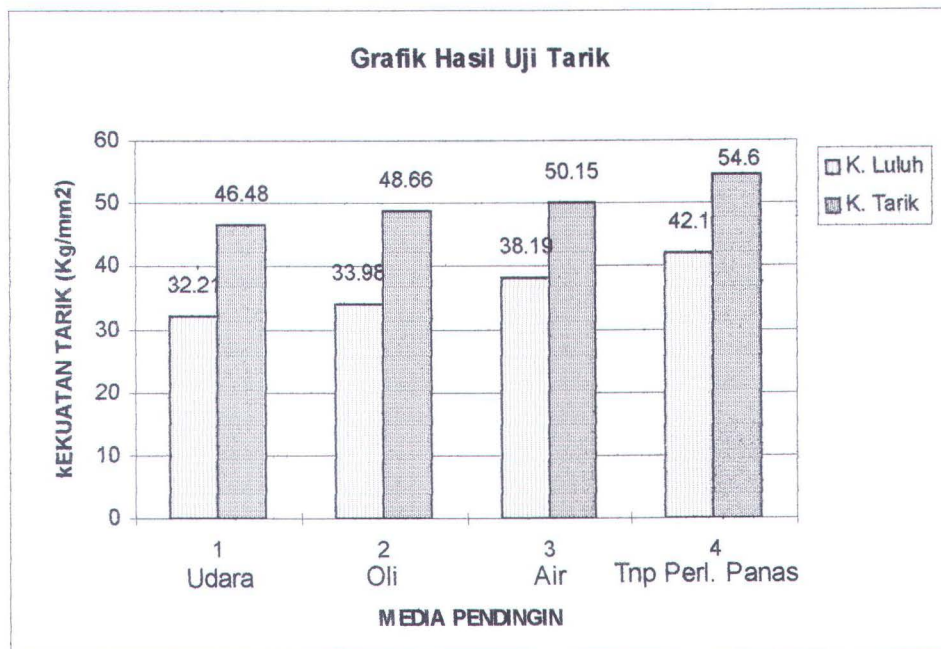
Dalam proses penyambungan logam dengan cara pengelasan, diharapkan menghasilkan sambungan yang baik, sehingga sewaktu dilakukan pengujian tarik tidak putus pada daerah lasan (*weld metal*), tetapi pada logam induk atau HAZ.

Karena itu perlu memperhatikan beberapa hal dalam proses pengelasan, yaitu :

- Pemilihan elektrode
- Penentuan parameter las (arus, tegangan, kecepatan pengelasan, kecepatan pengumpanan filler.

Apabila terjadi kesalahan pada pemilihan elektrode dan pengoperasian dari beberapa hal diatas, maka mengakibatkan kekuatan tarik menurun. Dari eksperimen yang telah dilaksanakan, baja AISI 1015 yang telah di las dan difurnis pada suhu 500° kemudian didinginkan dengan media pendingin air, oli dan udara, menunjukkan bahwa semua benda uji, patah di sekitar daera

HAZ, hal ini disebabkan karena pada daerah ini tumbuh kristal dengan cepat dan membentuk butir-butir kasar, dan butir yang kasar ini mempunyai ikatan atom yang kurang kuat pada batas butirnya, sehingga batas butir mengalami penurunan kekuatan, dan juga dapat memberikan efek penggetasan. Hasil uji tarik ditunjukkan pada gambar 5.1 berikut ini :



Gambar 5.1 Grafik hasil uji tarik rata-rata

A. Untuk hasil uji tarik dengan media pendingin udara

Dari grafik di atas untuk kekuatan luluh didapat :

$$\bar{X} = 32.21 \text{ dan } \sigma = 0.41 \text{ (lihat lampiran 7)}$$

dengan tingkat kepercayaan 95 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$31.75 \leq \mu \leq 32.67$$

didapatkan besarnya Error : $E = \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}}$

$$= 0.46$$

maka *Confidence Level* 95 % terpenuhi, dengan error 0.46

Untuk kekuatan Tarik didapat :

$$\bar{X} = 46.48 \text{ dan } \sigma = 0.41 \text{ (lihat lampiran 7)}$$

dengan tingkat kepercayaan 95 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$46.02 \leq \mu \leq 46.94$$

didapatkan besarnya Error : $E = \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}}$

$$= 0.46$$

maka *Confidence Level* 95 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 0.46

B. Untuk hasil uji tarik dengan media pendingin oli

Dari grafik di atas untuk kekuatan luluh didapat :

$$\bar{X} = 33.98 \text{ dan } \sigma = 0.85 \text{ (lihat lampiran 10)}$$

dengan tingkat kepercayaan 95 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

Confidence interval sebesar :

$$\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$33.02 \leq \mu \leq 34.94$$

didapatkan besarnya Error : $E = \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}}$

$$= 0.961$$

maka *Confidence Level* 95 % terpenuhi, dengan error 0.961

Untuk kekuatan tarik didapat :

$$\bar{X} = 48.66 \text{ dan } \sigma = 0.24 \text{ (lihat lampiran 10)}$$

dengan tingkat kepercayaan 95 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

didapatkan *Confidence interval* sebesar :

$$\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$48.39 \leq \mu \leq 48.92$$

didapatkan besarnya Error : $E = \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}}$

$$= 0.266$$

maka *Confidence Level* 95 % terpenuhi, dengan error 0.266

C. Untuk hasil uji tarik dengan media pendingin air.

Dari grafik di atas untuk kekuatan luluh didapat :

$$\bar{X} = 38.19 \text{ dan } \sigma = 0.62 \text{ (lihat lampiran 13)}$$

dengan tingkat kepercayaan 95 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung sebagai berikut :

$$\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$37.49 \leq \mu \leq 38.9$$

$$\begin{aligned}\text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.7\end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 95 % terpenuhi, dengan error 0.7

Untuk kekuatan tarik didapat :

$$\bar{X} = 50.15 \text{ dan } \sigma = 0.00 \text{ (lihat lampiran 13)}$$

dengan tingkat kepercayaan 100 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

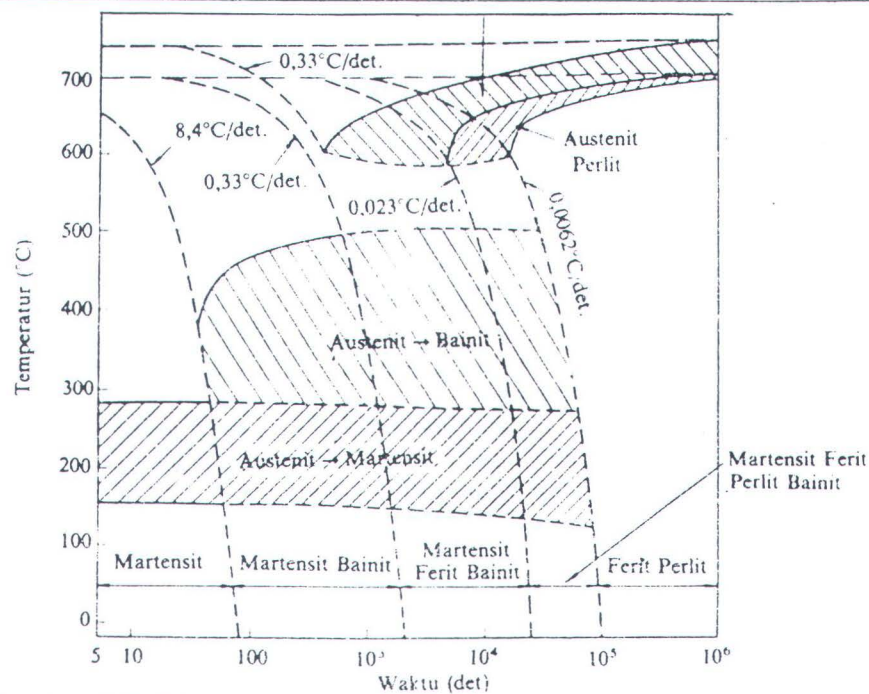
$$\begin{aligned}\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \\ 50.15 \leq \mu \leq 50.15\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.00\end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 100 % terpenuhi, dengan error 0.00

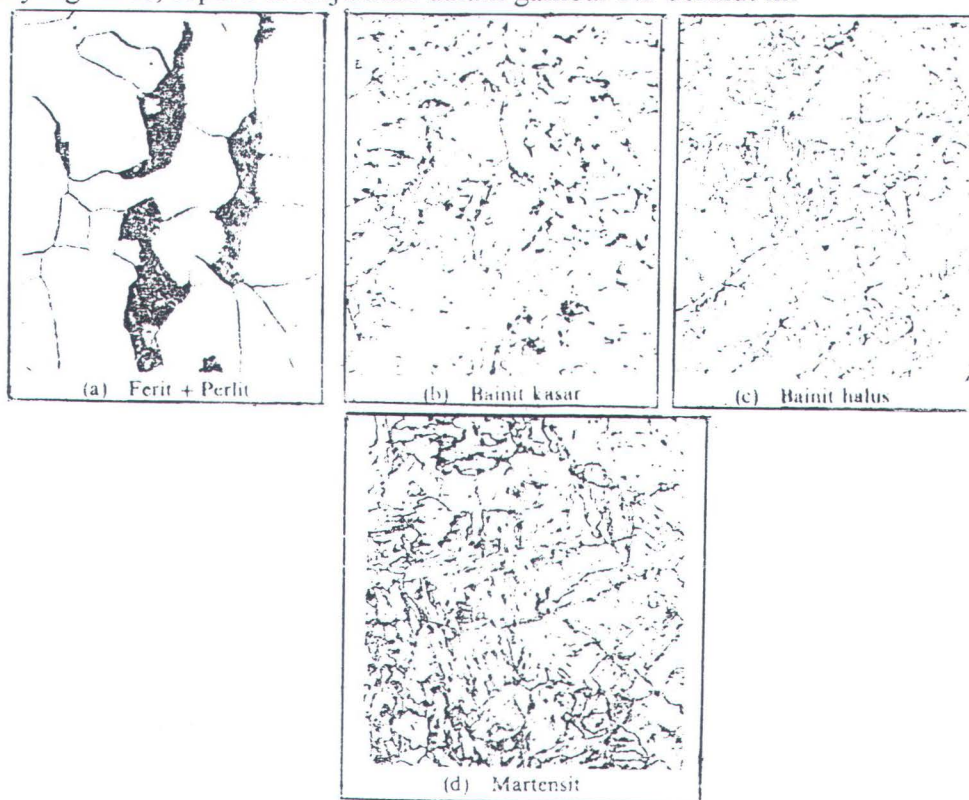
Dari fenomena yang ada, ternyata untuk media pendingin air, benda uji mempunyai kekuatan tarik (tensile strength) dan kekuatan luluh (yield strength) yang paling tinggi yaitu 50.15 kg/mm^2 dan 38.19 kg/mm^2 , hal ini jika dibandingkan dengan media pendingin lain yang relatif lebih rendah.

Hal ini disebabkan pada pendinginan dengan media pendingin air lebih cepat dari pada pendinginan dengan media pendingin oli maupun udara, sehingga terbentuk



Gambar 5.2. Diagram pendinginan kontinu untuk baja karbon

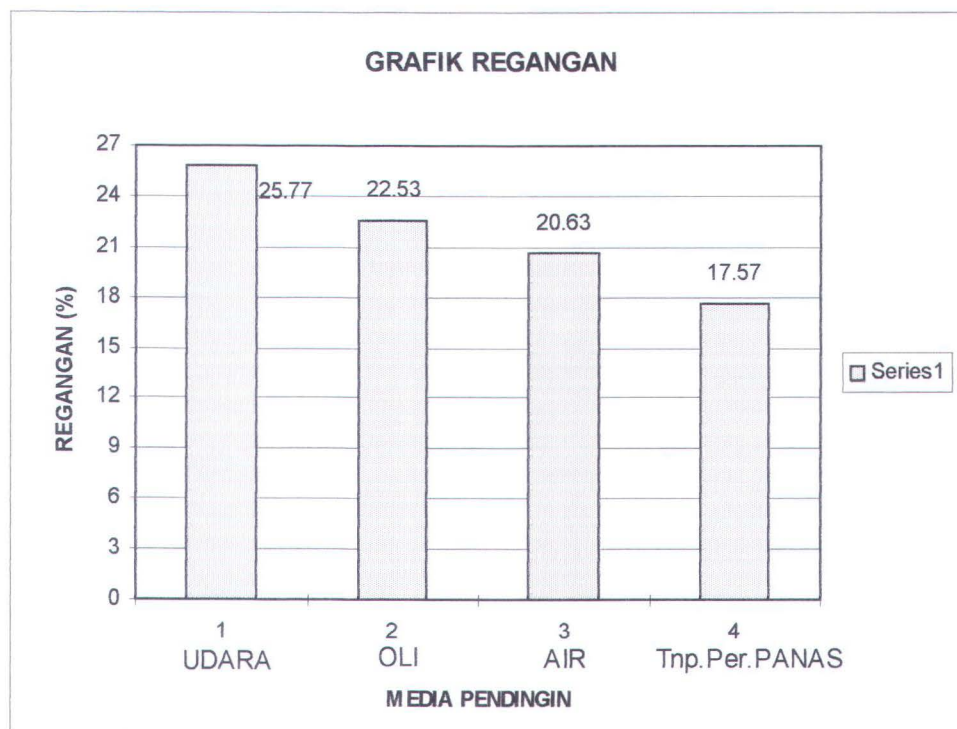
struktur martensite (Gambar 5.2) yang lebih dominan yang mempunyai sel satuan tetragonal pusat badan atau *body centered tetragonal (bct)* yang mempunyai butir kristal yang halus, seperti ditunjukkan dalam gambar 5.3 berikut ini



Gambar 5.3. Struktur mikro baja carbon

pada pendinginan yang lebih lambat akan terbentuk struktur martensite-bainit dan struktur martensite-ferit-bainit hal ini terjadi pada pendinginan yang telah dilakukan dengan media pendingin oli dan udara. Pada gambar 5.3 terlihat bahwa struktur martensite-bainit dan struktur martensite-ferit-bainit lebih kasar dibanding martensite, sehingga hal ini menyebabkan kekuatan tarik dan keuletan lebih rendah.

Perbedaan kekuatan tarik dan kekuatan luluh dari ketiga jenis media pendingin tersebut tidak begitu besar. Benda uji dengan media pendingin udara lebih ulet, jika dibandingkan dengan benda uji yang bermedia pendingin oli dan air, hal ini terlihat pada gambar 5.4



Gambar 5.4 Grafik regangan rata - rata



Dari hasil pengujian tarik tersebut akhirnya kita dapat menarik kesimpulan dengan membandingkan hasil uji tanpa perlakuan panas bahwa, ternyata baja hasil las tanpa perlakuan panas mempunyai kekuatan tarik dan kekuatan luluh yang lebih baik, hal ini berarti tidak perlu dilakukan perlakuan panas dan perlakuan panas justru menurunkan harga kekuatan tarik dan kekuatan luluhnya.

5.3 Pembahasan Hasil Uji Bending

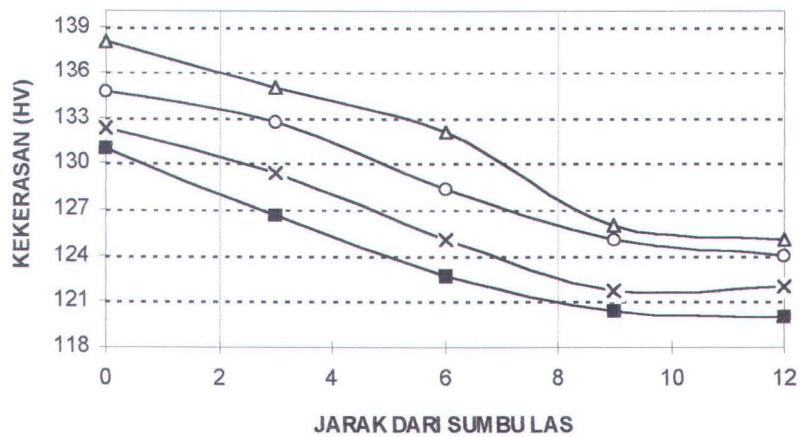
Dari uji bending (face bending) yang telah dilakukan untuk benda uji yang telah mengalami pengelasan dan perlakuan panas kemudian didinginkan dengan tiga jenis media pendingin yaitu air, oli dan udara, ternyata setelah diamati dengan kaca pembesar (lup), benda uji dari 3 (tiga) variabel jenis media pendingin tidak didapatkan adanya keretakan dan cacat lain.

Hal ini berarti tiga jenis media pendingin yang digunakan sebagai pendingin setelah *heat treatment* tidak terdapat perbedaan dilihat dari mampu bentuk dari baja tersebut.

5.4 Pembahasan Hasil Uji Kekerasan

Hasil pengukuran kekerasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, diperlihatkan pada gambar 5.5 dibawah ini, setelah dilakukan perhitungan rata-rata untuk setiap media pendingin.

GRAFIK KEKERASAN



■--Media Pend. Udara ×-- Media Pend. Oli
 ○--Media Pend. Air Δ-- Tanpa Perl. Panas

Gambar 5.5 Grafik hasil uji kekerasan rata-rata.

A. Untuk hasil uji kekerasan dengan media pendingin udara

1. Dari grafik di atas pada jarak 0 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 131.00 \text{ dan } \sigma = 1 \text{ (lihat lampiran 16)}$$

dengan tingkat kepercayaan 95 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$129.87 \leq \mu \leq 132.13$$

$$\text{didapatkan besarnya Error : } E = \sqrt{\frac{(Z_{\alpha/2} \cdot \sigma)^2}{n}}$$

$$= 1.13$$

maka *Confidence Level* 95 % terpenuhi, dengan error 0.46

2. Untuk jarak 3 mm dari sumbu las didapat :

$\bar{X} = 126.67$ dan $\sigma = 0.58$ (lihat lampiran 16)

dengan tingkat kepercayaan 95 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$126.01 \leq \mu \leq 127.32$$

$$\begin{aligned} \text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.65 \end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 95 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 0.65

3. Untuk jarak 6 mm dari sumbu las didapat :

$\bar{X} = 122.67$ dan $\sigma = 0.58$ (lihat lampiran 16)

dengan tingkat kepercayaan 95 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$122.01 \leq \mu \leq 123.32$$

$$\begin{aligned} \text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.65 \end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 95 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 0.65

4. Untuk jarak 9 mm dari sumbu las didapat :

$\bar{X} = 120.33$ dan $\sigma = 0.58$ (lihat lampiran 16)

dengan tingkat kepercayaan 80 % , $\alpha = 0.2$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$119.58 \leq \mu \leq 121.08$$

$$\begin{aligned} \text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z_{\alpha/2} \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.43 \end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 80 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 0.43

5. Untuk jarak 12 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 120.00 \text{ dan } \sigma = 0.00 \text{ (lihat lampiran 16)}$$

dengan tingkat kepercayaan 100 % , $\alpha = 0.00$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$120.00 \leq \mu \leq 120.00$$

$$\begin{aligned} \text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z_{\alpha/2} \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.00 \end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 100 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 0.00

B. Untuk hasil uji kekerasan dengan media pendingin oli

1. Dari grafik di atas pada jarak 0 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 132.33 \text{ dan } \sigma = 0.58 \text{ (lihat lampiran 18)}$$

dengan tingkat kepercayaan 98 % , $\alpha = 0.02$, $n = 3$

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$131.56 \leq \mu \leq 133.11$$

$$\text{didapatkan besarnya Error : } E = \sqrt{\frac{(Z_{\alpha/2} \cdot \sigma)^2}{n}}$$

$$= 0.78$$

maka *Confidence Level* 98 % terpenuhi, dengan error 0.78

2. Untuk jarak 3 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 129.33 \text{ dan } \sigma = 0.58 \text{ (lihat lampiran 18)}$$

dengan tingkat kepercayaan 98 % , $\alpha = 0.02$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$128.56 \leq \mu \leq 130.11$$

$$\text{didapatkan besarnya Error : } E = \sqrt{\frac{(Z_{\alpha/2} \cdot \sigma)^2}{n}}$$

$$= 0.78$$

maka *Confidence Level* 98 % terpenuhi, dengan konsekwensi error

sebesar 0.78

3. Untuk jarak 6 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 125 \text{ dan } \sigma = 1 \text{ (lihat lampiran 16)}$$

dengan tingkat kepercayaan 95 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$123.87 \leq \mu \leq 126.13$$

$$\begin{aligned} \text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z_{\alpha/2} \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 1.13 \end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 95 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 1.13

4. Untuk jarak 9 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 121.67 \text{ dan } \sigma = 0.58 \text{ (lihat lampiran 18)}$$

dengan tingkat kepercayaan 98 % , $\alpha = 0.02$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$120.89 \leq \mu \leq 122.44$$

$$\begin{aligned} \text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z_{\alpha/2} \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.78 \end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 98 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 0.78

5. Untuk jarak 12 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 120.00 \text{ dan } \sigma = 0.00 \text{ (lihat lampiran 18)}$$

dengan tingkat kepercayaan 100 % , $\alpha = 0.00$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$120.00 \leq \mu \leq 120.00$$

$$\begin{aligned} \text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.00 \end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 100 % terpenuhi, dengan konsekuensi error sebesar 0.00

C. Untuk hasil uji kekerasan dengan media pendingin air

1. Dari grafik di atas pada jarak 0 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 134.67 \text{ dan } \sigma = 0.58 \text{ (lihat lampiran 20)}$$

dengan tingkat kepercayaan 98 % , $\alpha = 0.02$, $n = 3$

$$\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$133.89 \leq \mu \leq 135.44$$

$$\begin{aligned} \text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.78 \end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 98 % terpenuhi, dengan error 0.78

2. Untuk jarak 3 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 132.67 \text{ dan } \sigma = 0.58 \text{ (lihat lampiran 20)}$$

dengan tingkat kepercayaan 98 % , $\alpha = 0.02$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$131.89 \leq \mu \leq 133.44$$

$$\begin{aligned}\text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.78\end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 98 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 0.78

3. Untuk jarak 6 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 128.33 \text{ dan } \sigma = 0.58 \text{ (lihat lampiran 20)}$$

dengan tingkat kepercayaan 98 % , $\alpha = 0.02$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\begin{aligned}\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \\ 127.56 \leq \mu \leq 129.11\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.78\end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 98 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 0.78

4. Untuk jarak 9 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 125.00 \text{ dan } \sigma = 1 \text{ (lihat lampiran 20)}$$

dengan tingkat kepercayaan 95 % , $\alpha = 0.05$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\begin{aligned}\bar{X} - Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z\alpha/2 \cdot \sigma / \sqrt{n} \\ 123.87 \leq \mu \leq 126.13\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 1.13\end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 95 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 1.13

5. Untuk jarak 12 mm dari sumbu las didapat :

$$\bar{X} = 124.00 \text{ dan } \sigma = 0.00 \text{ (lihat lampiran 20)}$$

dengan tingkat kepercayaan 100 % , $\alpha = 0.00$, $n = 3$

Confidence interval dapat dihitung :

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

$$120.00 \leq \mu \leq 120.00$$

$$\begin{aligned} \text{didapatkan besarnya Error : } E &= \sqrt{\frac{(Z_{\alpha/2} \cdot \sigma)^2}{n}} \\ &= 0.00 \end{aligned}$$

maka *Confidence Level* 100 % terpenuhi, dengan konsekwensi error sebesar 0.00

Pada gambar 5.5 menunjukkan hasil uji kekerasan dari benda uji yang telah mengalami proses pengelasan, perlakuan panas dengan tiga jenis variabel media pendingin, didapatkan harga kekerasan maksimum pada daerah “fusion line”, sedangkan makin jauh dari “fusion line” harga kekerasannya menurun mendekati kekerasan logam induk.

Tingkat kekerasan logam las berhubungan erat dengan proses perlakuan panas yang terjadi selama proses pengelasan berlangsung dan laju pendinginan suatu logam yang telah mengalami proses pengelasan. Pada pengelasan suatu logam yang mengalami pendinginan cepat adalah daerah “

fusion line “, sehingga terbentuk tegangan termal yang menghasilkan distorsi dan daerah tersebut mempunyai kekerasan yang tinggi.

Dari eksperimen yang telah dilaksanakan, ternyata untuk media pendingin air, benda uji mempunyai kekerasan (hardness Vickers) yang paling tinggi yaitu pada jarak 0 mm dari sumbu las sebesar 134.67 HV, hal ini jika dibandingkan dengan media pendingin lain yang harganya relatif lebih rendah. Tingginya tingkat kekerasan tersebut disebabkan pada pendinginan dengan media pendingin air lebih cepat dari pada pendinginan dengan media pendingin oli maupun udara, sehingga terbentuk struktur martensite (Gambar 5.2) yang lebih dominan yang mempunyai sel satuan tetragonal pusat badan atau *body centered tetragonal (bct)* yang mempunyai butir kristal yang halus, seperti ditunjukkan dalam (gambar 5.3), sesuai dengan sifat struktur martensite yang berbutir kristal halus maka nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan struktur sementit dan perlit. (*Shinroku S./ Tata S*)

Akhirnya dari pengujian kekerasan yang telah dilaksanakan kita dapat menyimpulkan bahwa heat treatment tidak perlu dilakukan sebab dari grafik kekerasan di atas menunjukkan bahwa heat treatment akan menurunkan tingkat kekerasan dari baja.

5.5 Pembahasan Hasil Uji Korosi

Larutan elektrolit pada penelitian ini menggunakan larutan NaCl 0.1 N dengan pH 6.5 hal ini disebabkan untuk kondisi air laut lebih cenderung dekat dengan larutan NaCl yaitu larutan dengan pH mendekati netral sebab perlu diingat bahwa komposisi garam - garam laut kandungan kloridanya 55%,

artinya air laut sedikit mendekati sifat asam. Demikian juga dengan NaCl 0.1 N pH 6.5 bersifat sedikit asam karena kandungan kloridanya 11.83 gr dari 19.50 gr bubuk NaCl yang digunakan untuk percobaan ini sedangkan sisanya adalah natrium, larutan NaCl ini adalah encer karena hanya 0.1 N (Perry, R.H., 1984)

NaCl apabila bereaksi akan mengalami pemisahan yaitu menjadi ion Na^+ dan Cl^- dari kedua ion tersebut, paling berbahaya adalah ion Cl^- sebab ion ini akan merusak selaput pasif dari logam, sebagai salah satu ukuran untuk menentukan pasifitas dari logam atau material, baik pada pelat baja AISI 1015 atau di Cu katode sendiri dan akan berikatan dengan ion $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$ untuk pelat baja serta ion Cu^{2+} .

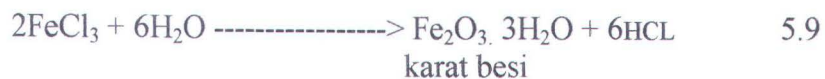
Larutan NaCl saat diuji sebagai larutan pengkorosif yaitu sebagai larutan elektrolit penyumbang ion Cl^- pada pelat baja AISI 1015 dan Cu sebagai katode memberikan fenomena dengan munculnya warna coklat pada larutan NaCl. Yang pertamanya larutan NaCl berwarna bening berubah menjadi kuning kecoklatan dan semakin menjadi coklat seiring dengan penambahan waktu. Hal diatas dapat dijelaskan sebagai berikut, untuk kasus munculnya gelembung - gelembung pada dasar larutan dan perubahan warna semula bening menjadi coklat disebabkan oleh karena serangan ion Cl^- diselaput permukaan pasif pada baja dengan ion Fe^{3+} membentuk FeCl_3 serta melepaskan ion Na^+ apabila serangan tersebut terus menerus akan terjadi reaksi hidrasi dengan ion H^+ dan ion OH^- , kedua ion ini terkandung di dalam larutan NaCl, akibat reaksi hidrasi inilah memunculkan molekul H_2 , berbentuk gelembung -gelembung, serta ringan karena tidak ada reaksi dengan lingkungan, molekul H_2 akan jatuh dan menempel di dasar larutan atau

mengambang di larutan NaCl, ion H^+ bisa juga dimunculkan oleh reaksi rusaknya selaput pasif dari Fe_3C disebabkan serangan Cl^- dan akan mengalami hidrasi serta membentuk karat besi. Warna coklat di larutan NaCl disebabkan oleh terbentuknya karat besi akibat ion Fe^{3+} berikatan dengan ion Cl^- dalam hal ini serangan korosi kontinyu dan Fe_3C sudah tidak mampu membendung serangan ion Cl^- , warna coklat tersebut akan semakin gelap karena karat besi semakin menumpuk di permukaan baja kemudian mengendap di dasar pot, sebab molekul $FeCl_3$ bersifat berat dan berwarna coklat (Perry, R.H., 1984). Mekanisme reaksi pada pelat baja AISI 1015 dalam larutan NaCl 0.1 N dapat disimak di bawah ini :

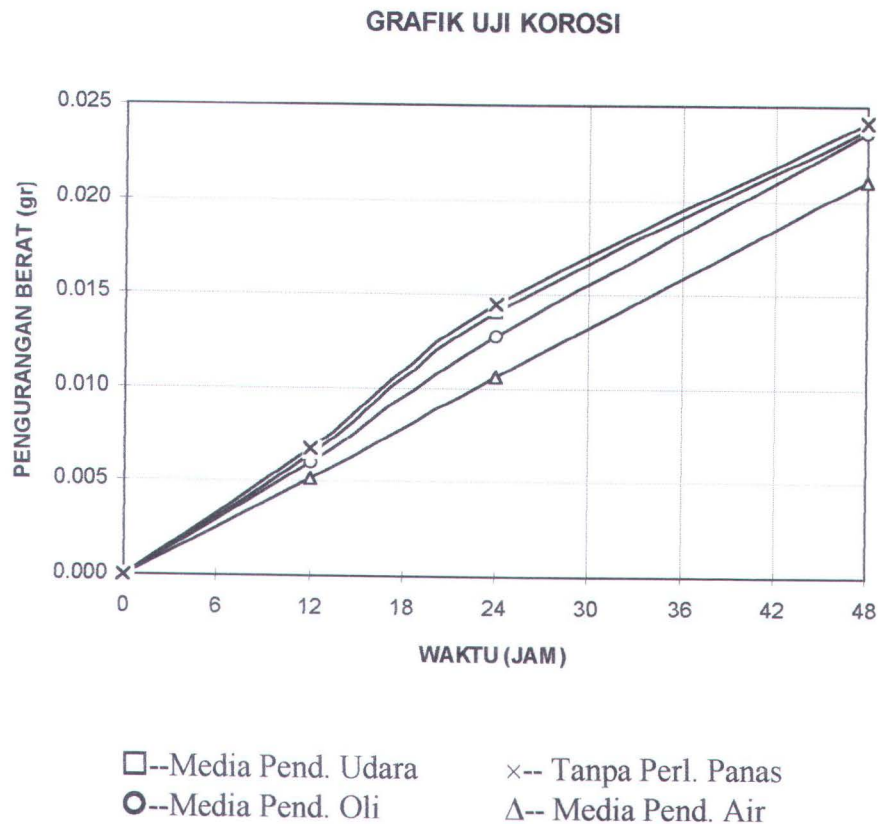
Migrasi Cl^- ke permukaan baja AISI 1015 :



Hidrasi $FeCl_3$ menghasilkan karat besi :



Munculnya Hcl pada hasil reaksi di atas menyebabkan larutan NaCl bersifat asam, dan sifat asam ini sebagai pertanda bahwa kromium oksida sudah tidak mampu lagi untuk menahan serangan ion Cl^- kemudian muncullah karat sebagai produk dari korosi. Peluruhan Fe ini secara otomatis akan mengurangi berat mula - mula setelah terkorosi untuk beberapa waktu, dalam penelitian ini digunakan alokasi waktu 12 jam, 24 jam dan 48 jam, penggunaan beda alokasi waktu tersebut disebabkan agar diperoleh hasil pengujian yang sempurna, apabila dibandingkan dengan hanya penggunaan satu waktu tertentu saja. Pada gambar 5.6 diperlihatkan pengurangan berat dari beberapa tiga jenis media pendingin.



Gambar 5.6 Pengurangan berat dari plat baja AISI 1015

Atom - atom carbon bercampur secara random dengan atom - atom besi yang terdistribusi secara merata dalam struktur kristal logam pelarut dan membentuk larutan padat (solid solution).

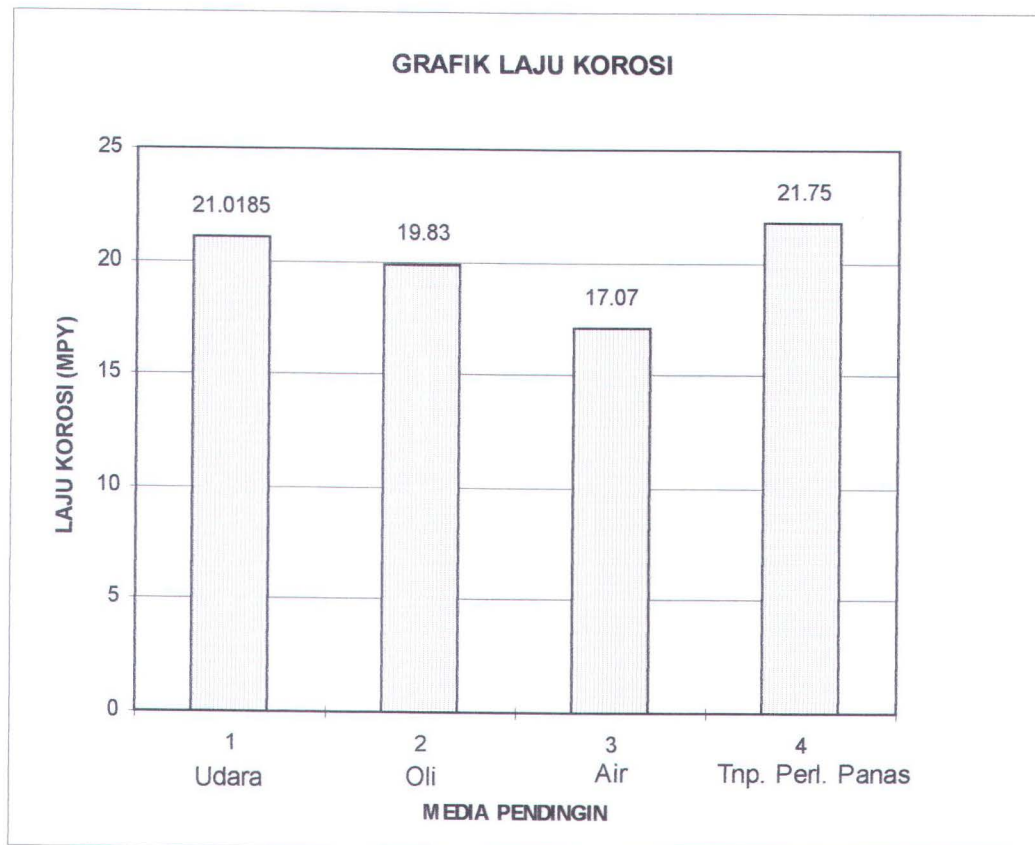
Karena atom-atom carbon mempunyai ukuran yang hampir sama dengan atom-atom besi, maka larutan padat tersebut, disebut dengan substitusional, yaitu atom-atom carbon menggantikan sebagian posisi atom-atom besi sehingga terbentuk lapisan pasivasi. Keadaan pasif tersebut tidak selamanya statis, jadi ketahanan korosinya tergantung pada kekuatan lapisan,

kecepatan pembentukan lapisan baru (bila lapisan tersebut rusak), dan unsur penunjang tahan korosi yang masih stabil. Apabila terkena pengaruh panas pada proses pengelasan dan dengan pendinginan yang relatif lambat, maka terjadi penyebaran carbon yang tidak merata, kemungkinan terjadi presipitasi karbida carbon pada daerah batas butir. Baik karena pengaruh tegangan maupun akibat interaksi atom-atom dari kristal tetangganya dan setiap butir kristal mempunyai orientasi yang berbeda satu sama lainnya, sehingga pada batas antara satu butir dengan butir lainnya terjadi ketidak teraturan susunan atom (bila dibandingkan dengan bagian dalam dari kristal), akibatnya batas butir merupakan daerah yang penuh dislokasi dan tegangan.

Dengan adanya penyebaran carbon yang tidak merata menyebabkan daerah yang miskin carbon bersifat anodik dan daerah yang kaya carbon bersifat katodik. Jika terletak pada larutan asam, maka terjadilah reaksi oksidasi pada anode, dan elektron yang dihasilkan di anode tersebut dialirkan ke katoda, sehingga terjadi proses reduksi.

Pada gambar 5.5 ditunjukkan hasil uji korosi baja AISI 1015 yang telah mengalami proses pengelasan, pemanasan dan pendinginan dengan media pendingin udara, oli serta air.

Dari tiga jenis media pendingin ini diketahui bahwa laju pendinginan dengan media pendingin air lebih cepat bila dibandingkan laju pendinginan dengan media pendingin oli maupun udara, sedangkan laju pendinginan oli lebih cepat bila dibandingkan dengan media pendingin udara.



Gambar 5.7 Grafik hasil uji korosi rata - rata.

Dalam gambar 5.7 terlihat bahwa laju korosi yang paling rendah pada media pendingin air, dan yang paling tinggi media pendingin udara, sedangkan untuk media pendingin oli laju korosinya diantara laju korosi dengan media pendingin air dan udara.

Laju korosi untuk media pendingin air paling rendah yaitu 17.07 Mpy, hal ini disebabkan laju pendinginan yang cepat, sehingga permukaan baja mengandung kadar karbon yang lebih tinggi, lapisan karbon ini akan memperkeras permukaan baja dan lebih tahan terhadap korosi.

Dari fenomena tersebut diatas kita dapat simpulkan bahwa makin cepat laju pendinginan, makin banyak pula kadar karbon pada permukaan baja sehingga makin rendah laju korosinya, dan sebaliknya jika laju pendinginan relatif lambat maka sn sedikit karbida carbon yang terbentuk, sehingga laju korosinya makin rendah. Dari grafik hasil uji korosi rata-rata di atas dapat dibandingkan baja yang mengalami *heat treatment* dengan baja yang tidak dilakukan *heat treatment* (tanpa perlakuan panas). Ternyata perlu dilakukan *heat treatment* pada baja hasil lasan dan didinginkan dengan air jika ingin mengurangi laju korosinya.

BAB VI

KESIMPULAN

Berdasarkan dari semua data yang telah didapatkan melalui pengujian dan pengamatan, maka :

1. Untuk pengujian tarik, media pendingin air relatif lebih baik bila dibandingkan dengan media pendingin oli maupun udara, yaitu dengan nilai :

 kekuatan tarik : 50.15 kg/mm²

 kekuatan luluh : 38.19 kg/mm².

 Regangan : 20.63 %

Untuk regangan ini hasilnya relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan media pendingin oli maupun udara, hal ini berarti bahwa keuletan dari benda uji rendah. Sifat inilah yang tidak menguntungkan pada penggunaan media pendingin air.

2. Untuk pengujian Bending , ketiga jenis media pendingin tidak berpengaruh terhadap mampu bentuk dari baja AISI 1015, yaitu dengan tidak diketemukannya retak pada hasil uji, hal ini berarti mempunyai sifat mampu bentuk yang baik.

3. Untuk pengujian kekerasan, media pendingin air lebih baik jika dibandingkan dengan media pendingin oli maupun udara, hal ini dapat dilihat dari nilai kekerasan pada jarak 0 mm dari sumbu las yaitu sebesar 134.67 HV.
4. Untuk pengujian laju korosi, pada proses perlakuan panas didalam memperbaiki sifat tahan korosi pada baja carbon (carbon steel) AISI 1015 yang turun karena pengelasan, ternyata jenis media pendingin air lebih baik dari pada oli dan udara yaitu dengan nilai laju korosi 17.07 MPY

Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa untuk konstruksi dengan desain operasional berada di bawah garis air, yang sangat rawan terhadap korosi maka perlu perlakuan panas dengan pendinginan menggunakan media pendingin air. Untuk desain konstruksi di atas permukaan air akan lebih baik jika tanpa *heat treatment* sebab dari data tanpa *heat treatment* didapatkan harga kekuatan tarik paling besar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Manual Book of ASTM Standards, Volume 03.02 section 3, " Metal Test Methods and Analytical Procedures, " ASTM, Philadelphia, 1994
2. Committee on Tank Vessel Design., " Tanker Spills Prevention By Design " , National Academy Press, Washington D.C 1991
3. Charlotte Weisman., " Welding Hand Book " ., American Welding Society 1973
4. H.E. Davis, G.E. Troxell, " The Testing of Engineering Materials ", Fourth Edition, Mc.Graw-Hill Int.Book Co. London 1982.
5. Howard B. Cary., " Modern Welding Technology "., Prentice Hall Inc, New jersey 1979
6. Houldcroft P. and John R., " Welding and Cutting "., ESAB Group 1988
7. Lawrence, " Elements of Materials Science and Engineering, 5th Edition " , Addison - Wesley Publishing Company, 1985.
8. Manual Book of ASTM Standard, "Testing and Material ", 01.03.02, American Society for Testing and Materials, Philadelphia 1984
9. Marcus P. and Undar J., " Corrosion Mechanisms in Theory and Practice "., Marcel Dekker Inc, 1995.
10. M.G. Fontana, " Corrosion Engineering " , 3th ed, Mc.Graw Hill Book Co, Singapore 1989.

11. Paton B., " Electric Slag Welding "., MR Pubhlishers, Moscow 1967
12. Suherman W. , " Ilmu Logam I " , Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya 1989.
13. Toshie Okumura dan Wiryosumarto H, " Teknologi Pengelasan Logam ", PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1981.
14. Uhlig ,H.H., Revei, R.W., " Corrosion And Corrosion Control ", 3rd ed, John Wiley. and Sons, New York 1991
15. William F. Smith, " Structure And Properties Of Engineering Alloys ", McGraw - Hill Book Co, Singapore 1993
16. Zbigniew D. Jastrzebski, " The Nature And Properties Of Engineering Materials ", Jhon Wiley & Sons, Inc, Canada 1959.

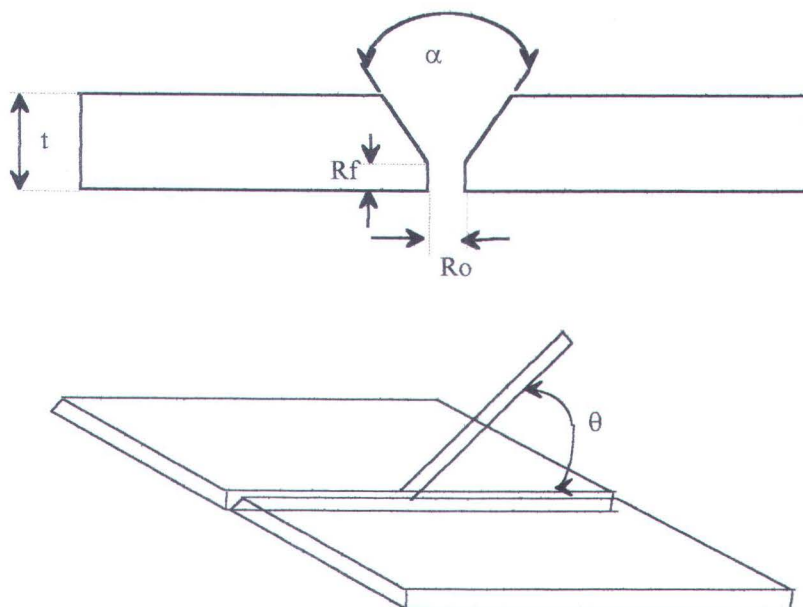
LAMPIRAN 1

Data Pengelasan

-Mesin Las	: SMAW Welding ESAB THF 225 AC.
- Voltage input	: 24 Volt
- Arus	: - Layer 1 = 75 Amp - Layer 2 = 110 Amp - Layer 3 = 110 Amp
- Max open circuit voltage	: 240 Volt
- Elektrode	: OK E 7018
Diameter	: 3.2 mm
Tensile Strength	: 70.000 psi
Pelindung	: Serbuk Fe hidrogen rendah.

LAMPIRAN 2

Kecepatan Pengelasan		: 20 Cm/ menit
- Sudut pengelasan (θ)		: 70°
- Sudut groove (α)		: 60°
- Tebal pelat (t)		: 10 mm
- Root opening (Ro)		: 3.2 mm
- Root face (Rf)		: 3 mm

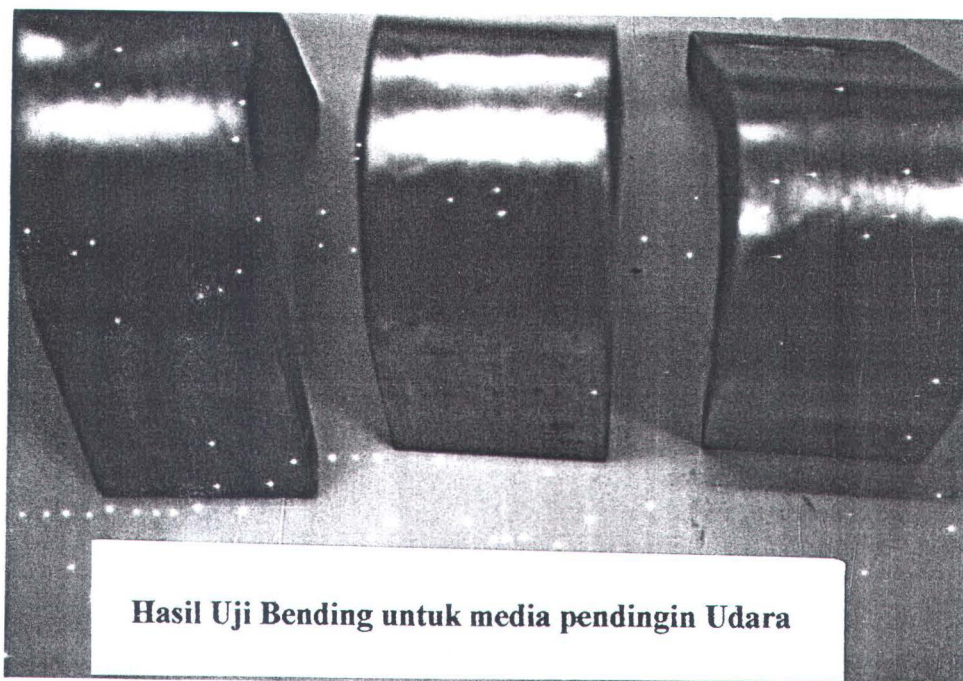


LAMPIRAN 3

Data alat uji sinar-X

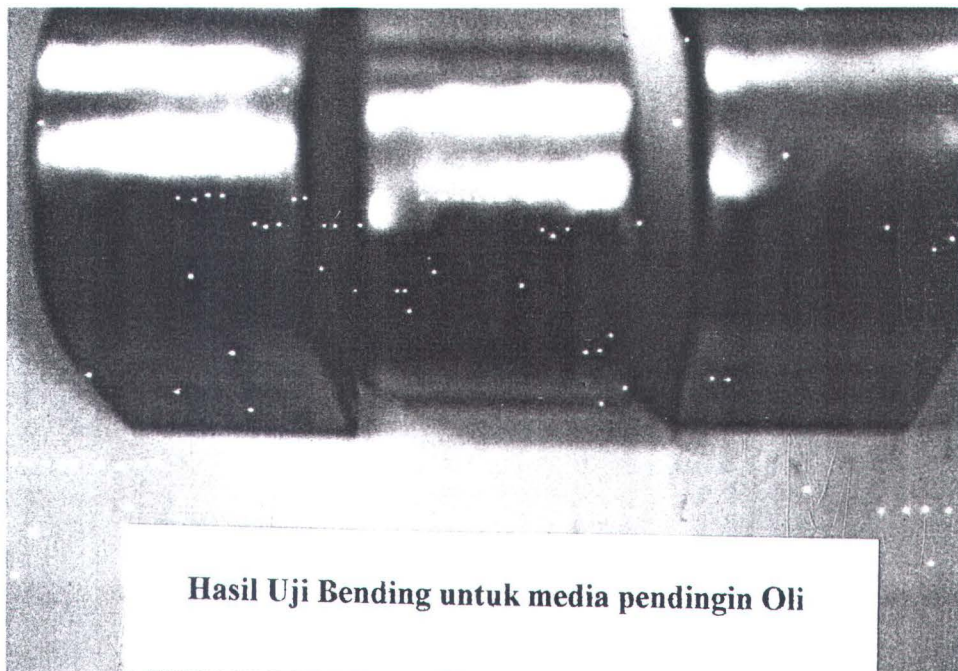
Jenis generator	: Typ Eresco 200/8
Lama penyinaran	: 3.75 menit
Arus tabung	: 8 mA
Panjang L_1	: 700 mm
Panjang L_2	: 120 mm
Panjang L_3	: 250 mm

LAMPIRAN 4

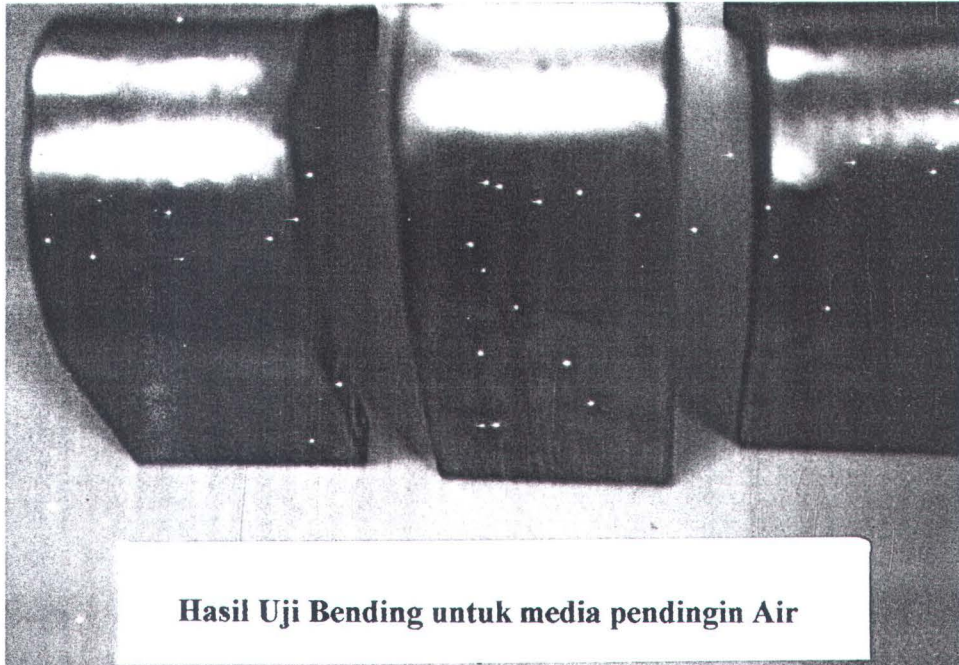


Hasil Uji Bending untuk media pendingin Udara

LAMPIRAN 5



LAMPIRAN 6



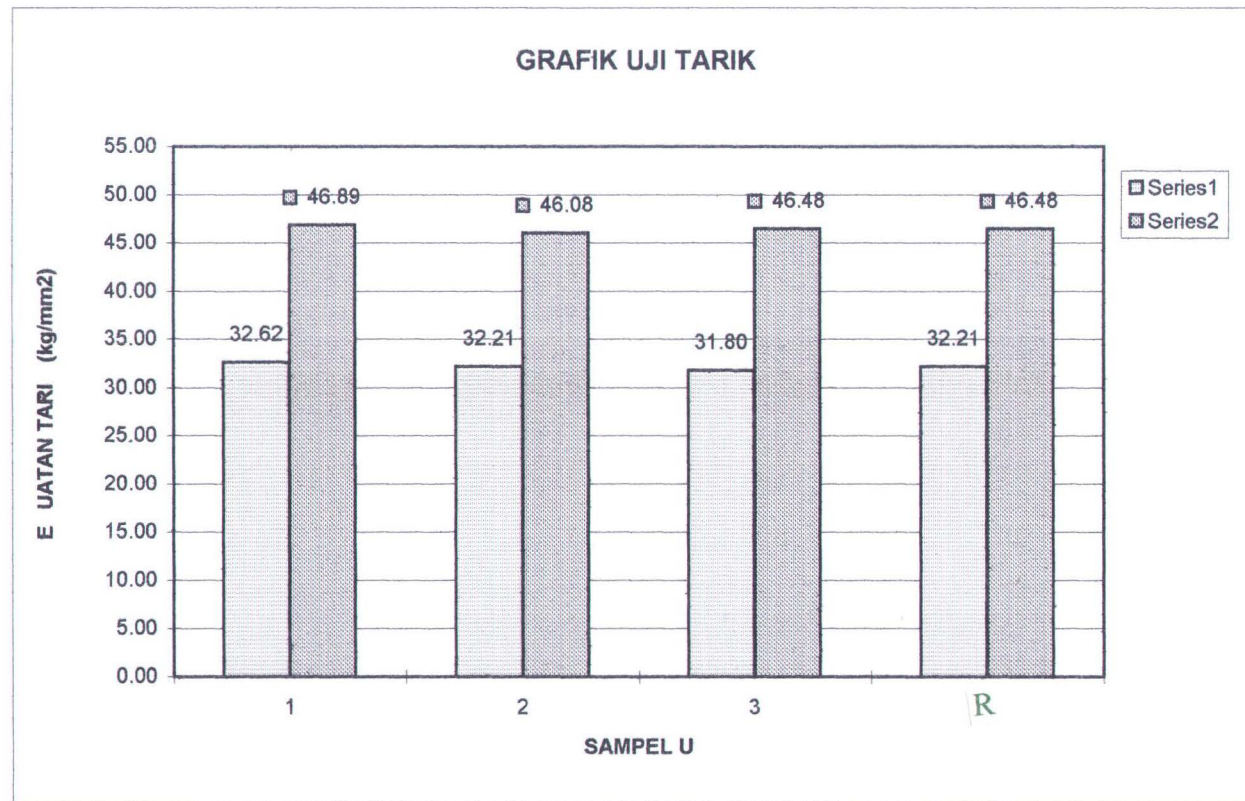
LAMPIRAN 7

Tabel 3.1 Hasil uji tarik media pendingin udara

Bahan	U1	U2	U3	Rata-rata	Deviasi Standar
Beban Lumer (kN)	40.00	39.50	39.00	39.50	0.50
Beban Maksimum (kN)	57.50	56.50	57.00	57.00	0.50
Kekuatan Luluh (kg/mm ²)	32.62	32.21	31.80	32.21	0.41
Kekuatan Tarik mak (kg/mm ²)	46.89	46.08	46.48	46.48	0.41
Panjang Lo	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00
Panjang L1	64.15	62.50	62.00	62.88	1.13
Regangan patah (%)	28.30	25.00	24.00	25.77	2.25

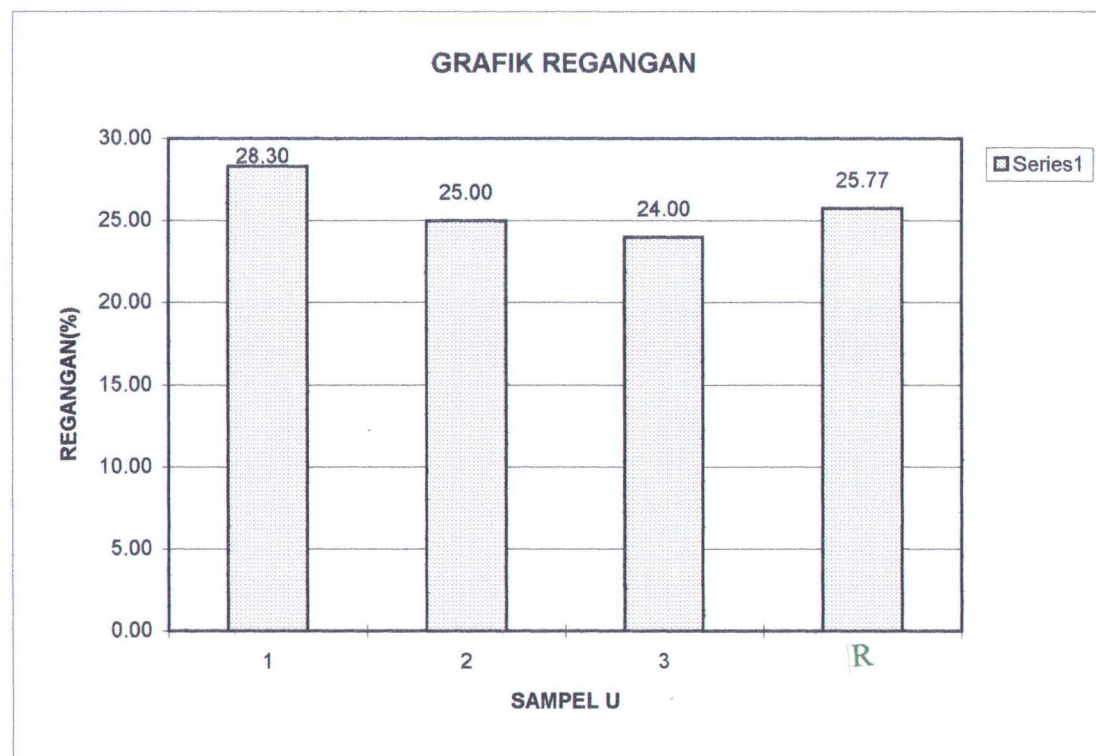
LAMPIRAN 8

Gambar 4.1 Grafik hasil uji tarik media pendingin udara



LAMPIRAN 9

Gambar 4.2 Grafik regangan untuk media pendingin udara



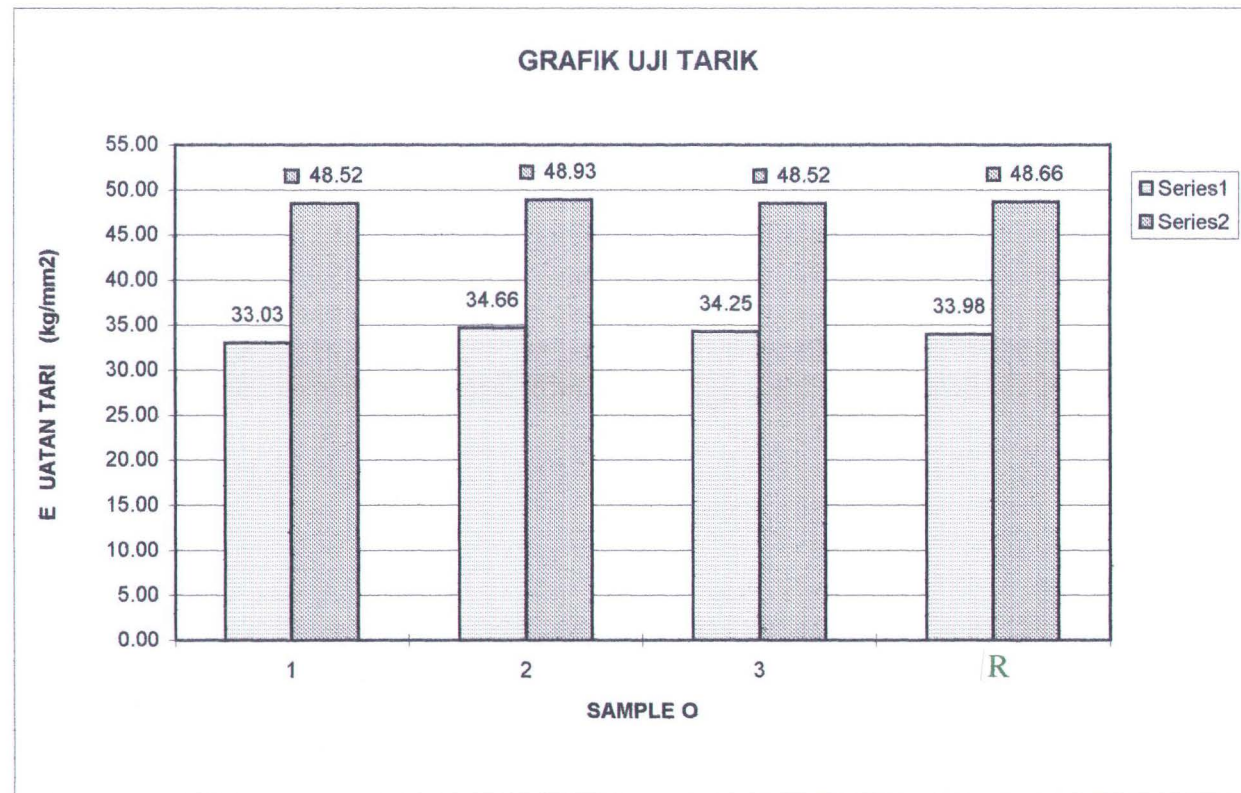
LAMPIRAN 10

Tabel 3.2. Hasil uji tarik media pendingin oli

Bahan	O1	O2	O3	Rata-rata	Deviasi Standar
Beban Lumer (kN)	40.50	42.50	42.00	41.67	1.04
Beban Maksimum (kN)	59.50	60.00	59.50	59.67	0.29
Kekuatan Luluh (kg/mm ²)	33.03	34.66	34.25	33.98	0.85
Kekuatan Tarik mak (kg/mm ²)	48.52	48.93	48.52	48.66	0.24
Panjang Lo	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00
Panjang L1	62.75	61.05	60.00	61.27	1.39
Regangan patah (%)	25.50	22.10	20.00	22.53	2.78

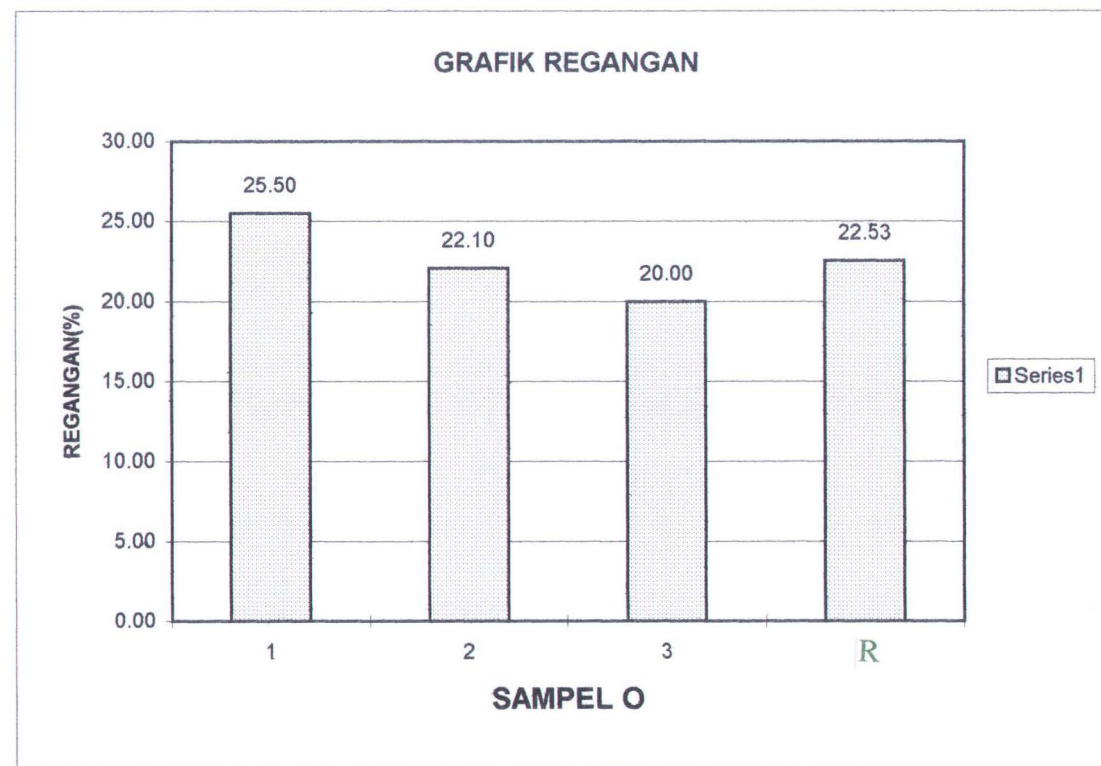
LAMPIRAN 11

Gambar 4.3 Grafik hasil uji tarik media pendingin oli



LAMPIRAN 12

Gambar 4.4 Grafik regangan untuk media pendingin oli



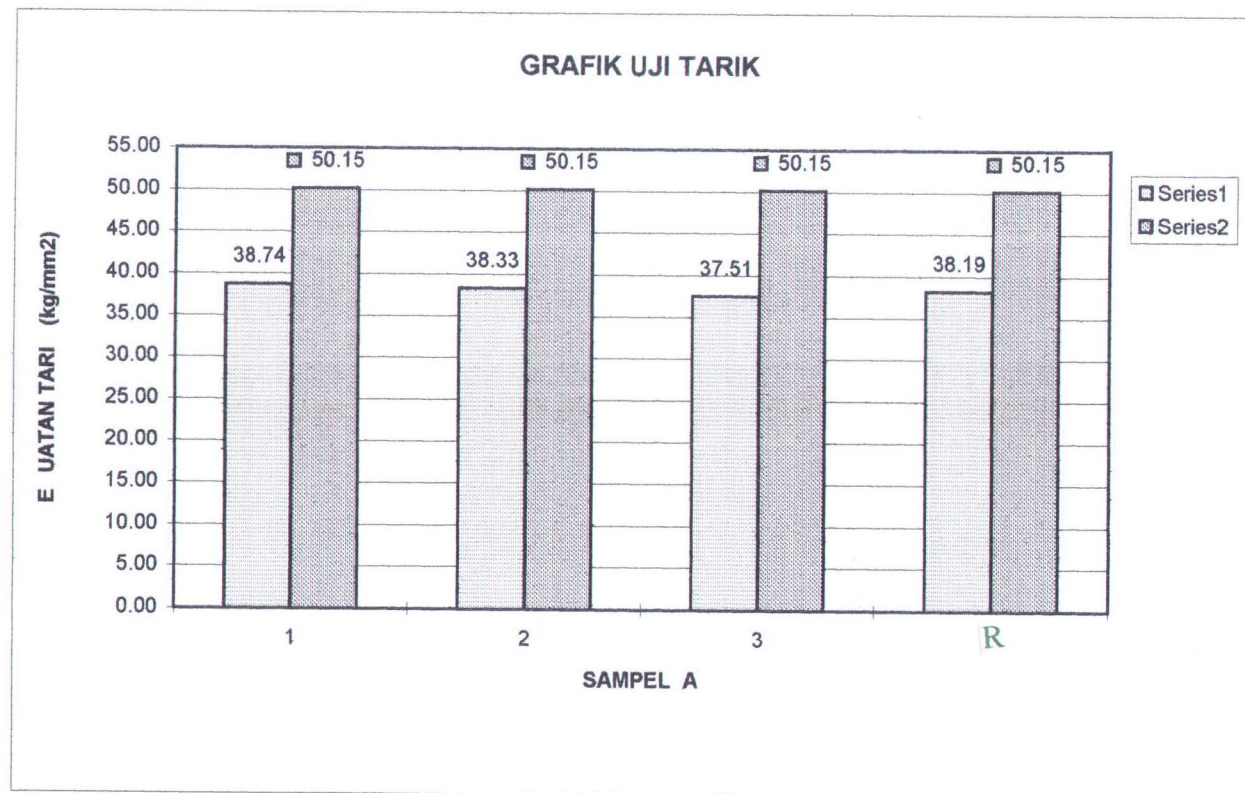
LAMPIRAN 13

Tabel 3.3 Hasil uji tarik media pendingin air

Bahan	A1	A2	A3	Rata-rata	Deviasi Standar
Beban Maksimum (kN)	61.50	61.50	61.50	61.50	0.00
Kekuatan Luluh (kg/mm ²)	38.74	38.33	37.51	38.19	0.62
Kekuatan Tarik mak (kg/mm ²)	50.15	50.15	50.15	50.15	0.00
Panjang Lo	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00
Panjang L1	62.40	58.75	59.80	60.32	1.88
Regangan patah (%)	24.80	17.50	19.60	20.63	3.76

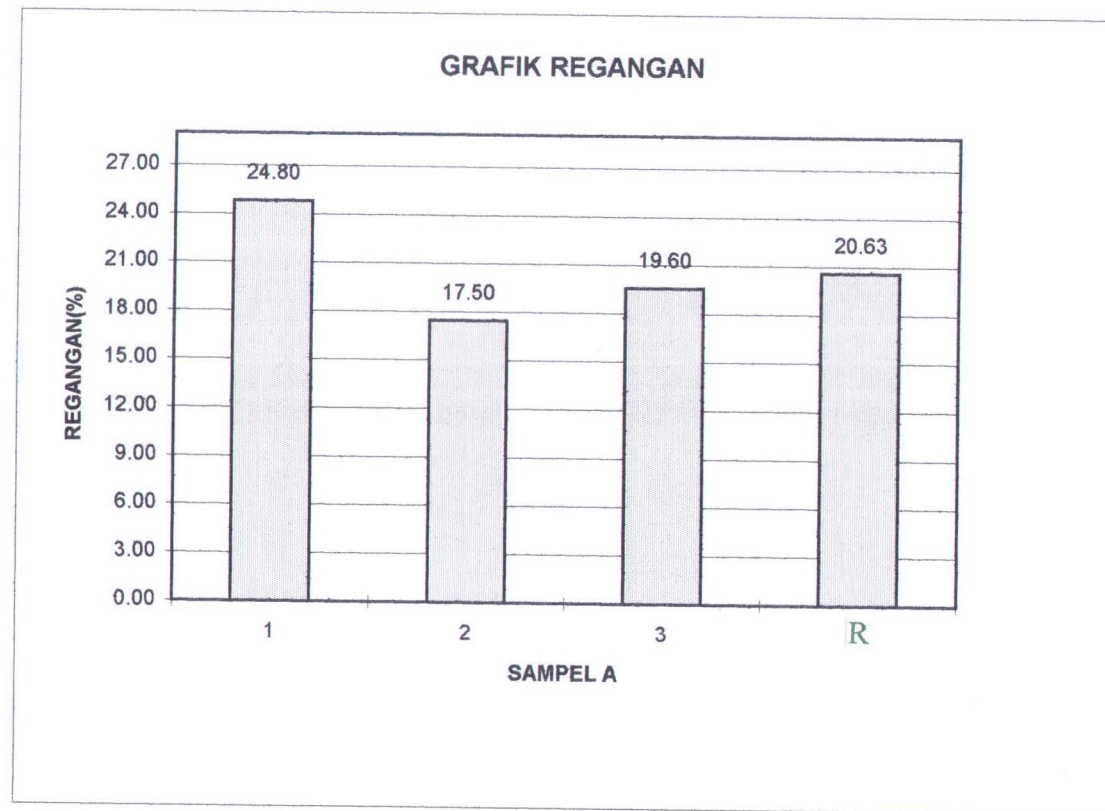
LAMPIRAN 14

Gambar 4.5 Grafik hasil uji tarik media pendingin air



LAMPIRAN 15

Gambar 4.6 Grafik regangan untuk media pendingin air



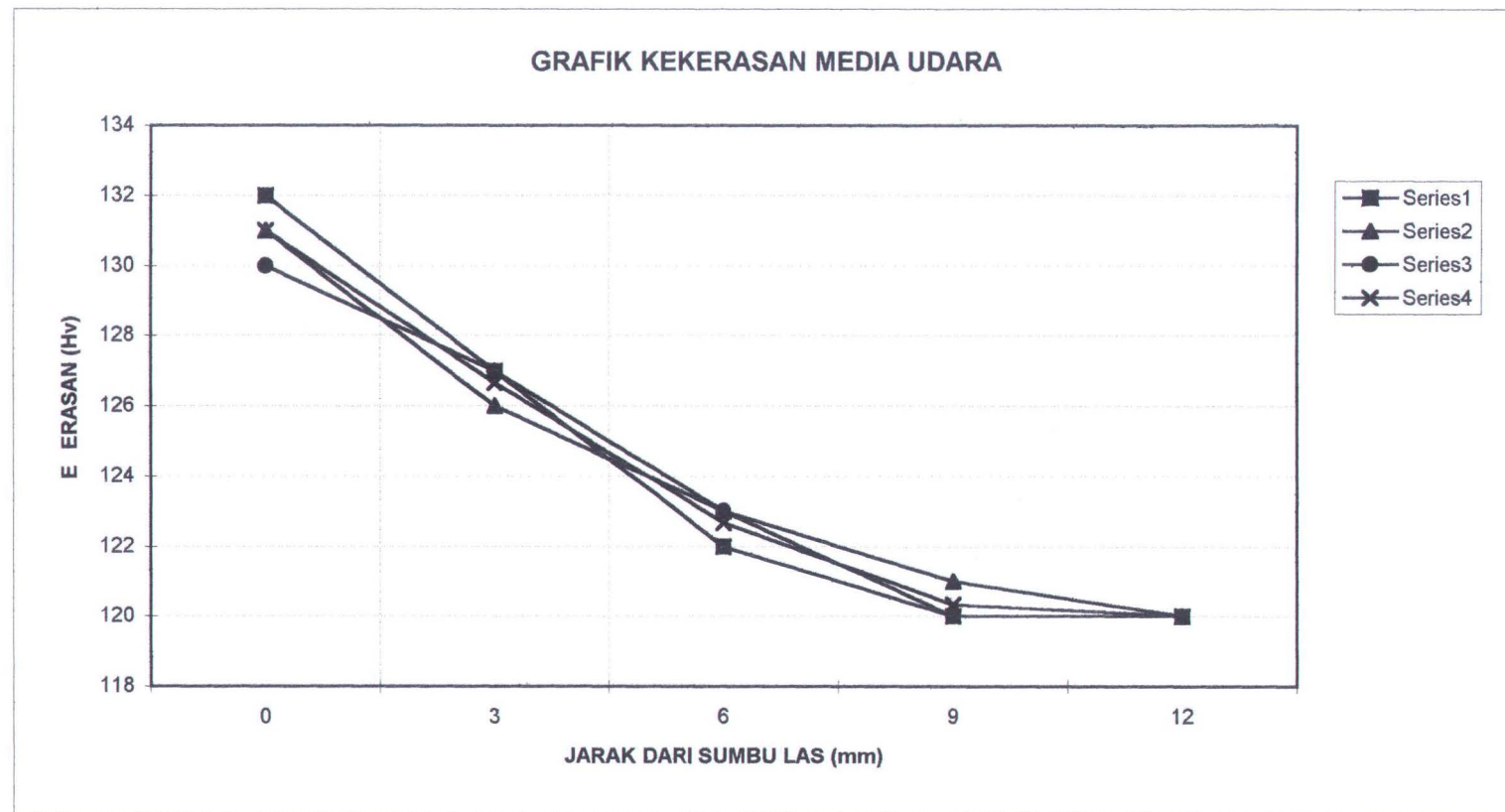
LAMPIRAN 16

Tabel 3.4 hasil uji kekerasan media pendingin udara

No	Jarak dari sumbu las (mm)	U1	U2	U3	Rata -rata (Hv)	Deviasi standar
		Hv	Hv	Hv		
1	0	132	131	130	131.00	1.00
2	3	127	126	127	126.67	0.58
3	6	122	123	123	122.67	0.58
4	9	120	121	120	120.33	0.58
5	12	120	120	120	120.00	0.00

LAMPIRAN 17

Gambar 4.7 Grafik hasil uji kekerasan media pendingin udara



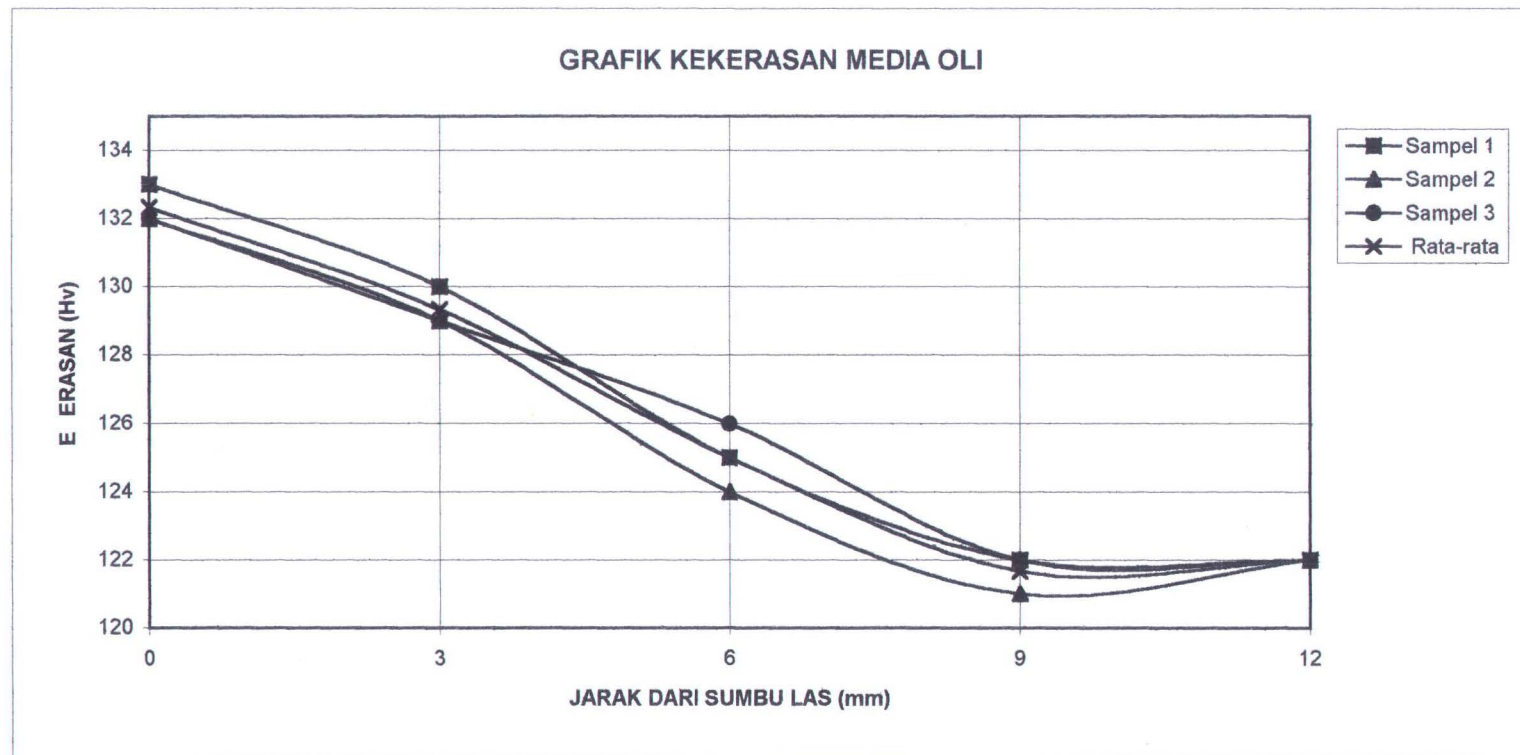
LAMPIRAN 18

Tabel 3.5 Hasil uji kekerasan media pendingin oli

No	Jarak dari sumbu las (mm)	O1	O2	O3	Rata -rata (Hv)	Deviasi standar
		Hv	Hv	Hv		
1	0	133	132	132	132.33	0.58
2	3	130	129	129	129.33	0.58
3	6	125	124	126	125.00	1.00
4	9	122	121	122	121.67	0.58
5	12	122	122	122	122.00	0.00

LAMPIRAN 19

Gambar 4.8 Grafik hasil uji kekerasan media pendingin oli



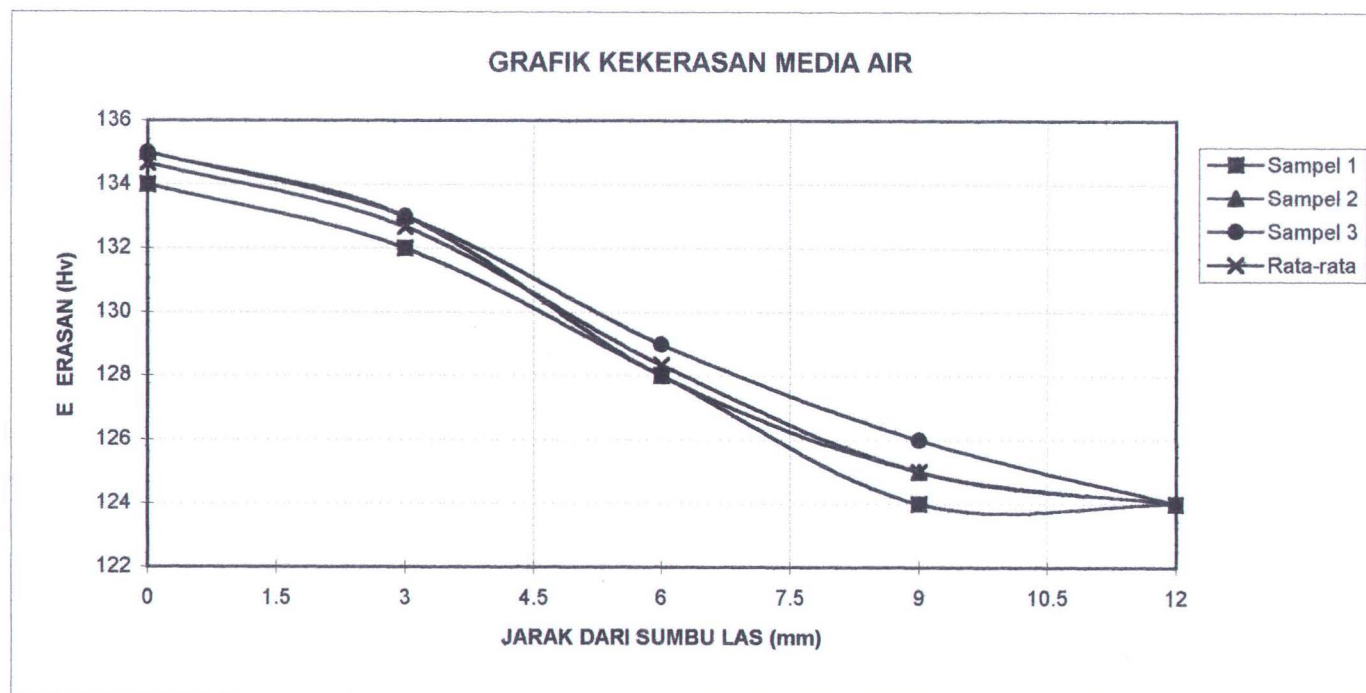
LAMPIRAN 20

Tabel 3.6 Hasil uji kekerasan media pendingin air

No	Jarak dari sumbu las (mm)	A1	A2	A3	Rata -rata (Hv)	Deviasi standar
		Hv	Hv	Hv		
1	0	134	135	135	134.67	0.58
2	3	132	133	133	132.67	0.58
3	6	128	128	129	128.33	0.58
4	9	124	125	126	125.00	1.00
5	12	124	124	124	124.00	0.00

LAMPIRAN 21

Gambar 4.9 Grafik hasil uji kekerasan media pendingin air



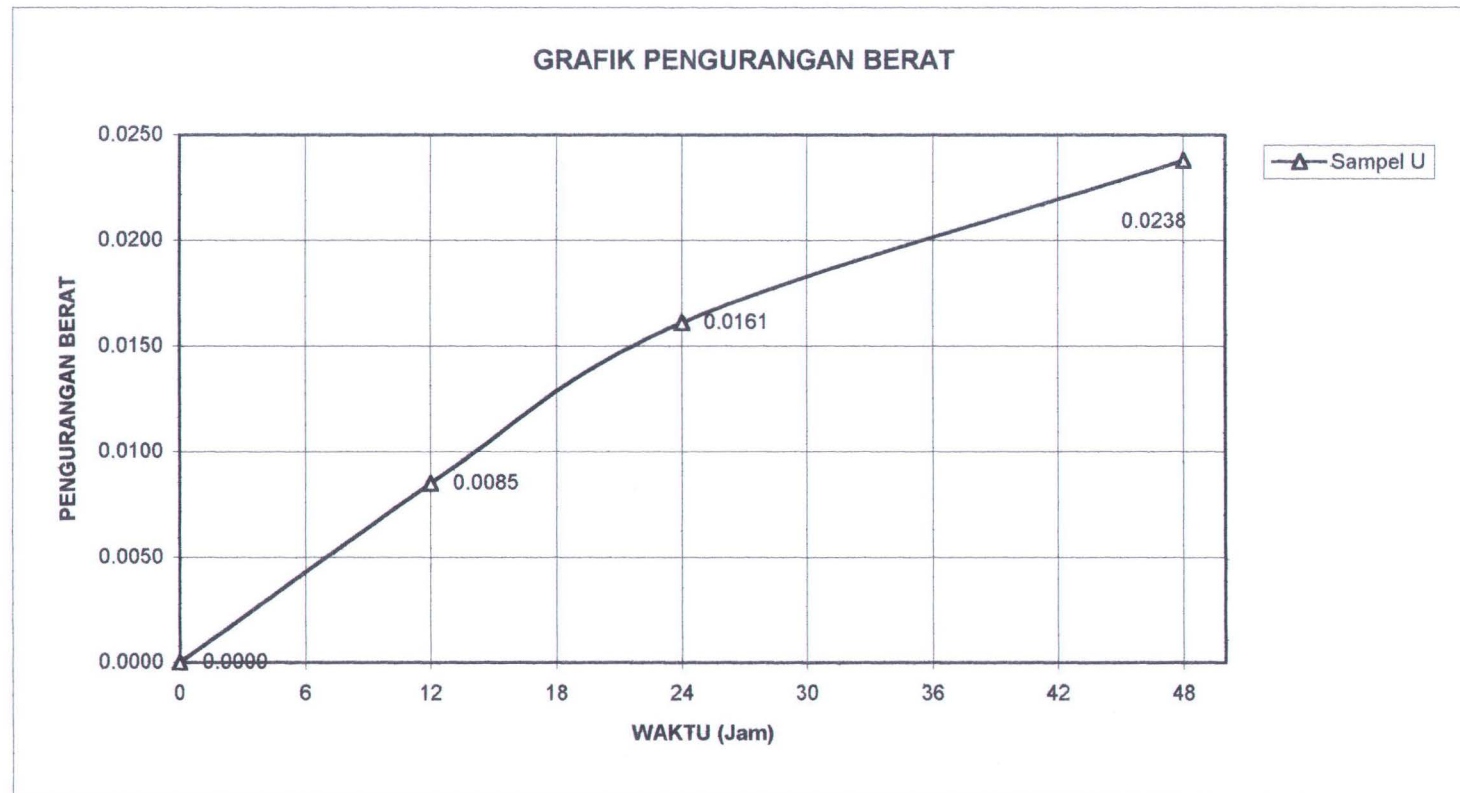
LAMPIRAN 22

Tabel 3.7. Hasil uji korosi pada daerah las dan HAZ untuk media pendingin udara

Sampel	Lama Pengujian (jam)	Berat (gr)			Corr Rate (Mpy)	I - Corr (mA/m ²)
		Wo	W1	dW		
U1	0	92.2125	92.2125	0.0000	0.0000	0.0000
U1	12	92.1592	92.1528	0.0064	20.8018	0.4636
U2	24	92.0363	92.0222	0.0141	22.9145	0.5106
U3	48	92.4729	92.4491	0.0238	19.3392	0.4310

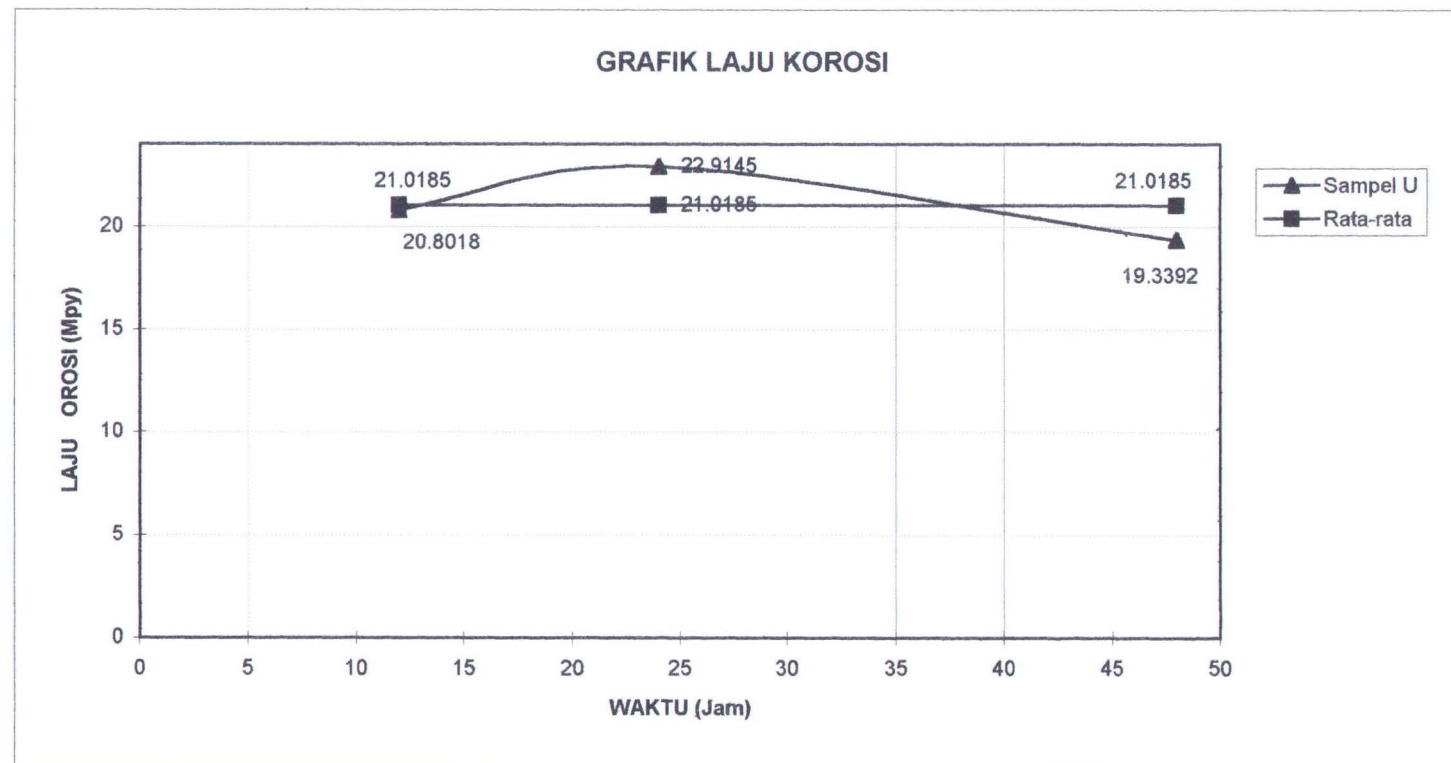
LAMPIRAN 23

Gambar 4.10. Grafik pengurangan berat dari hasil uji korosi untuk media pendingin udara



LAMPIRAN 24

Gambar 4.11. Grafik laju korosi dari hasil uji korosi untuk media pendingin udara



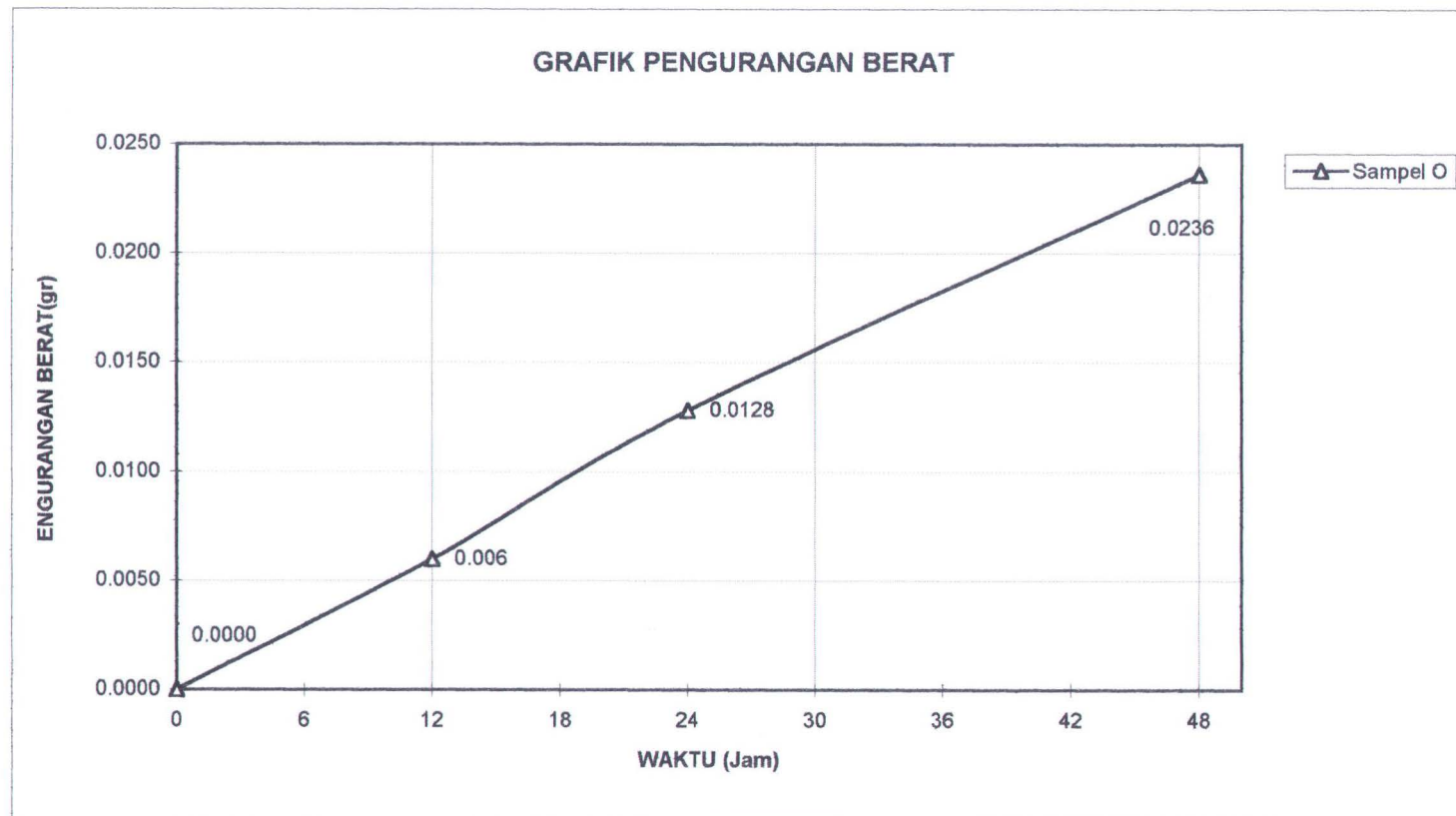
LAMPIRAN 25

Tabel 3.8. Hasil uji korosi pada daerah las dan HAZ untuk media pendingin oli

Sampel	Lama Pengujian (jam)	Berat (gr)			Corr Rate (Mpy)	I - Corr (mA/m ²)
		Wo	W1	dW		
O1	0	90.0343	90.0343	0.0000	0.0000	0.0000
O1	12	90.0343	90.0283	0.0060	19.5017	0.4346
O2	24	90.1123	90.0995	0.0128	20.8018	0.4636
O3	48	90.3439	90.3203	0.0236	19.1767	0.4274

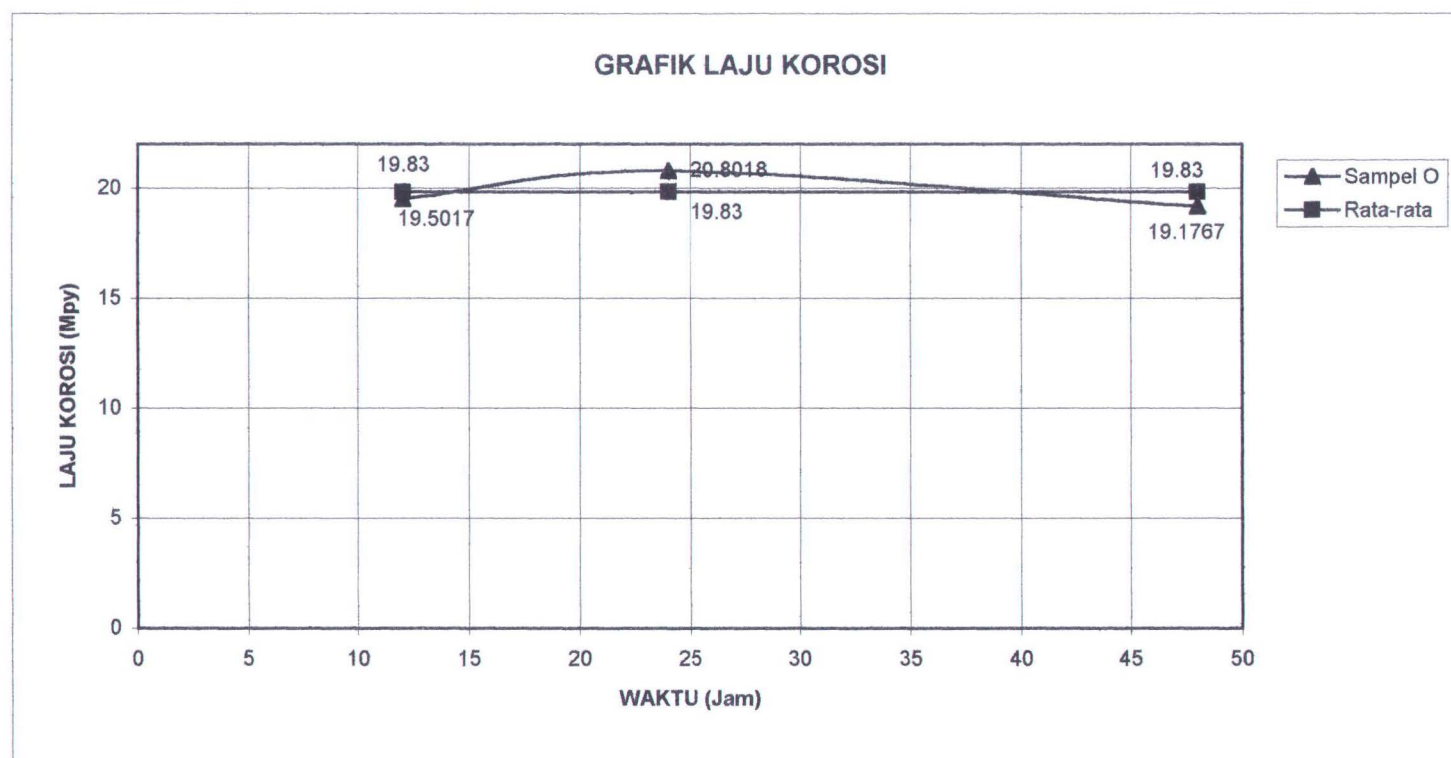
LAMPIRAN 26

Gambar 4.12. Grafik pengurangan berat dari hasil uji korosi untuk media pendingin oli



LAMPIRAN 27

Gambar 4.13. Grafik laju korosi dari hasil uji korosi untuk media pendingin oli



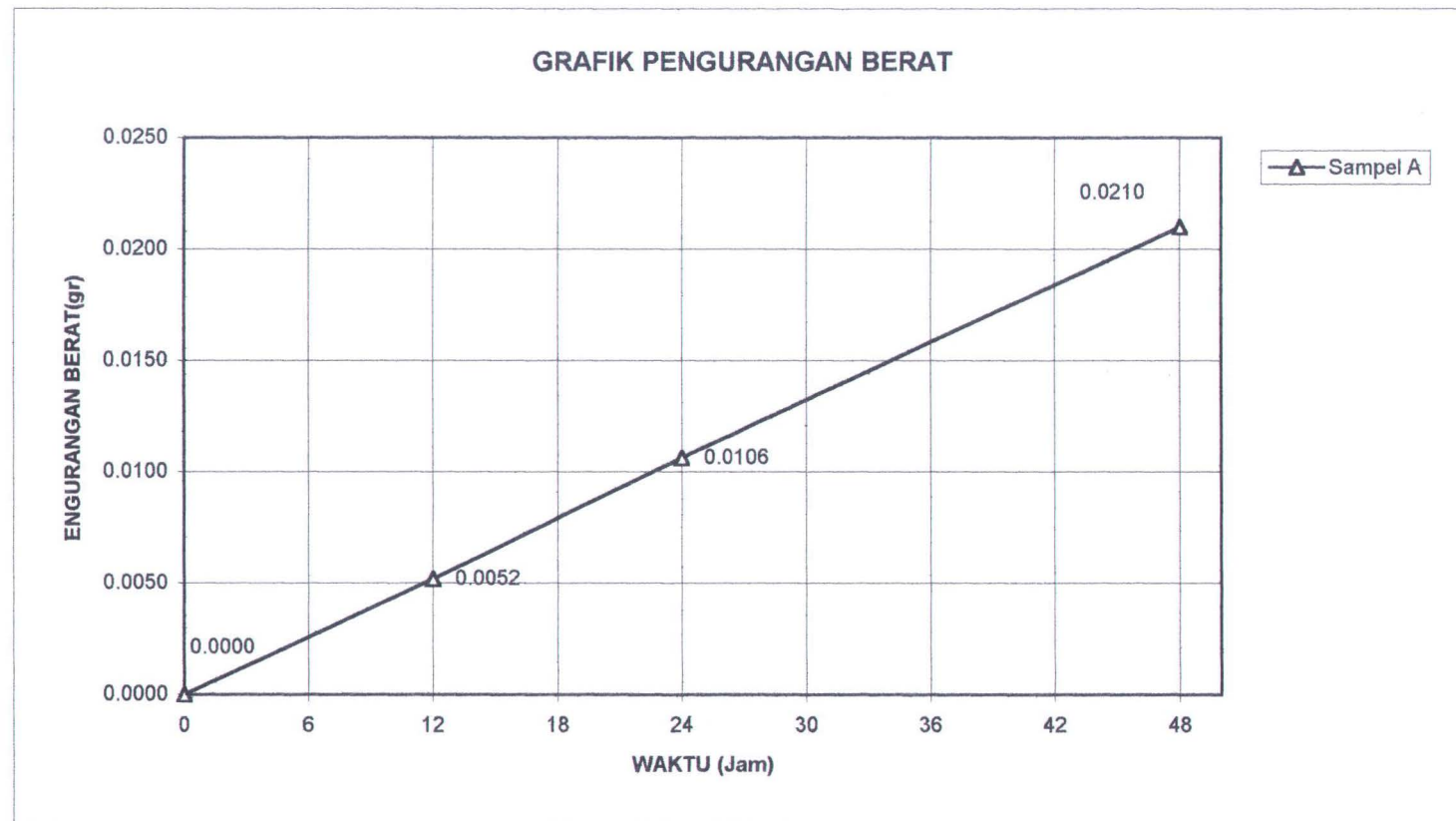
LAMPIRAN 28

Tabel 3.9. Hasil uji korosi pada daerah las dan HAZ untuk media pendingin air

Sampel	Lama Pengujian (jam)	Berat (gr)			Corr Rate (Mpy)	I - Corr (mA/m ²)
		Wo	W1	dW		
A1	0	91.3120	91.3120	0.0000	0.0000	0.0000
A1	12	91.3120	91.3068	0.0052	16.9015	0.3766
A2	24	91.3451	91.3345	0.0106	17.2590	0.3846
A3	48	91.3393	91.3183	0.0210	17.0640	0.3803

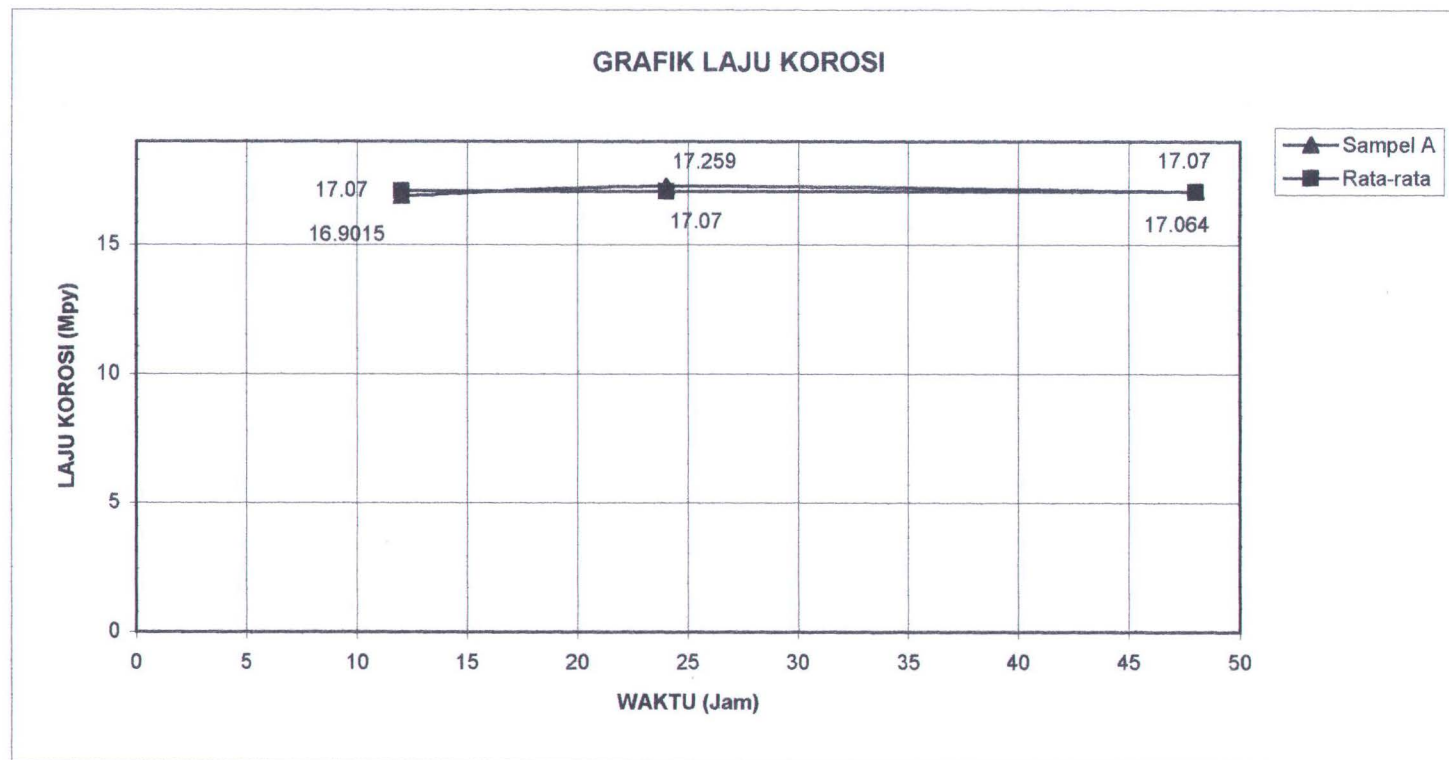
LAMPIRAN 29

Gambar 4.14. Grafik pengurangan berat dari hasil uji korosi untuk media pendingin air



LAMPIRAN 30

Gambar 4.15. Grafik laju korosi dari hasil uji korosi untuk media pendingin air



Lampiran 31

Distribusi Normal Standar Kumulatif

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du$$

z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	z
0,0	0,500 00	0,503 99	0,507 98	0,511 97	0,515 95	0,0
0,1	0,539 83	0,543 79	0,547 76	0,551 72	0,555 67	0,1
0,2	0,579 26	0,583 17	0,587 06	0,590 95	0,594 83	0,2
0,3	0,617 91	0,621 72	0,625 51	0,629 30	0,633 07	0,3
0,4	0,655 42	0,659 10	0,662 76	0,666 40	0,670 03	0,4
0,5	0,691 46	0,694,97	0,698 47	0,701 94	0,705 40	0,5
0,6	0,725 75	0,729 07	0,732 37	0,735 65	0,738 91	0,6
0,7	0,758 03	0,761 15	0,764 24	0,767 30	0,770 35	0,7
0,8	0,788 14	0,791 03	0,793 89	0,796 73	0,799 54	0,8
0,9	0,815 94	0,818 59	0,821 21	0,823 81	0,826 39	0,9
1,0	0,841 34	0,843 75	0,846 13	0,848 49	0,850,83	1,0
1,1	0,864 33	0,866 50	0,868 64	0,870 76	0,872 85	1,1
1,2	0,884 93	0,886 86	0,888 77	0,890 65	0,892 51	1,2
1,3	0,903 20	0,904 90	0,906 58	0,908 24	0,909 88	1,3
1,4	0,919 24	0,920 73	0,922 19	0,923 64	0,925 06	1,4
1,5	0,933 19	0,934 48	0,935 74	0,936 99	0,938 22	1,5
1,6	0,945 20	0,946 30	0,947 38	0,948 45	0,949 50	1,6
1,7	0,955 43	0,956 37	0,957 28	0,958 18	0,959 07	1,7
1,8	0,964 07	0,964 85	0,965 62	0,966 37	0,967 11	1,8
1,9	0,971 28	0,971 93	0,972 57	0,973 20	0,973 81	1,9
2,0	0,977 25	0,977 78	0,978 31	0,978 82	0,979 32	2,0
2,1	0,982 14	0,982 57	0,983 00	0,983 41	0,983 82	2,1
2,2	0,986 10	0,986 45	0,986 79	0,987 13	0,987 45	2,2
2,3	0,989 28	0,989 56	0,989 83	0,990 10	0,990 36	2,3
2,4	0,991 80	0,992 02	0,992 24	0,992 45	0,992 66	2,4
2,5	0,993 79	0,993 96	0,994 13	0,994 30	0,994 46	2,5
2,6	0,995 34	0,995 47	0,995 60	0,995 73	0,995 85	2,6
2,7	0,996 53	0,996 64	0,996 74	0,996 83	0,996 93	2,7
2,8	0,997 44	0,997 52	0,997 60	0,997 67	0,997 74	2,8
2,9	0,998 13	0,998 19	0,998 25	0,988 31	0,998 36	2,9
3,0	0,998 65	0,998 69	0,998 74	0,998 78	0,998 82	3,0
3,1	0,999 03	0,999 06	0,999 10	0,999 13	0,999 16	3,1
3,2	0,999 31	0,999 34	0,999 36	0,999 38	0,999 40	3,2
3,3	0,999 52	0,999 53	0,999 55	0,999 57	0,999 58	3,3
3,4	0,999 66	0,999 68	0,999 69	0,999 70	0,999 71	3,4
3,5	0,999 77	0,999 78	0,999 78	0,999 79	0,999 80	3,5
3,6	0,999 84	0,999 85	0,999 85	0,999 86	0,999 86	3,6
3,7	0,999 89	0,999 90	0,999 90	0,999 90	0,999 91	3,7
3,8	0,999 93	0,999 93	0,999 93	0,999 94	0,999 94	3,8
3,9	0,999 95	0,999 95	0,999 96	0,999 96	0,999 96	3,9

Lampiran 32

Distribusi Normal Standar Kumulatif (*lanjutan*)

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du$$

z	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	z
0,0	0,519 94	0,523 92	0,527 90	0,531 88	0,535 86	0,0
0,1	0,559 62	0,563 56	0,567 49	0,571 42	0,575 34	0,1
0,2	0,598 71	0,602 57	0,606 42	0,610 26	0,614 09	0,2
0,3	0,636 83	0,640 58	0,644 31	0,610 26	0,614 09	0,3
0,4	0,673 64	0,677 24	0,680 82	0,684 38	0,687 93	0,4
0,5	0,708 84	0,712 26	0,715 66	0,719 04	0,722 40	0,5
0,6	0,742 15	0,745 37	0,748 57	0,751 75	0,754 90	0,6
0,7	0,773 37	0,776 37	0,779 35	0,782 30	0,785 23	0,7
0,8	0,802 34	0,805 10	0,807 85	0,810 57	0,813 27	0,8
0,9	0,828 94	0,831 47	0,833 97	0,836 46	0,838 91	0,9
1,0	0,853 14	0,855 43	0,857 69	0,859 93	0,862 14	1,0
1,1	0,874 93	0,876 97	0,879 00	0,881 00	0,882 97	1,1
1,2	0,894 35	0,896 16	0,897 96	0,899 73	0,901 47	1,2
1,3	0,911 49	0,913 08	0,914 65	0,916 21	0,917 73	1,3
1,4	0,926 47	0,927 85	0,929 22	0,930 56	0,931 89	1,4
1,5	0,939 43	0,940 62	0,941 79	0,942 95	0,944 08	1,5
1,6	0,950 53	0,951 54	0,952 54	0,953 52	0,954 48	1,6
1,7	0,959 94	0,960 80	0,961 64	0,962 46	0,963 27	1,7
1,8	0,967 84	0,968 56	0,969 26	0,969 95	0,970 62	1,8
1,9	0,974 41	0,975 00	0,975 58	0,976 15	0,976 70	1,9
2,0	0,979 82	0,980 30	0,980 77	0,981 24	0,981 69	2,0
2,1	0,984 22	0,984 61	0,985 00	0,985 37	0,985 74	2,1
2,2	0,987 78	0,988 09	0,988 40	0,988 70	0,988 99	2,2
2,3	0,990 61	0,990 86	0,991 11	0,991 34	0,991 58	2,3
2,4	0,992 86	0,993 05	0,993 24	0,993 43	0,993 61	2,4
2,5	0,994 61	0,994 77	0,994 92	0,995 06	0,995 20	2,5
2,6	0,995 98	0,996 09	0,996 21	0,996 32	0,996 43	2,6
2,7	0,997 02	0,997 11	0,997 20	0,997 28	0,997 36	2,7
2,8	0,997 81	0,997 88	0,997 95	0,998 01	0,998 07	2,8
2,9	0,998 41	0,998 46	0,998 51	0,998 56	0,998 61	2,9
3,0	0,998 86	0,998 89	0,998 93	0,998 97	0,999 00	3,0
3,1	0,999 18	0,999 21	0,999 24	0,999 26	0,999 29	3,1
3,2	0,999 42	0,999 44	0,999 46	0,999 48	0,999 50	3,2
3,3	0,999 60	0,999 61	0,999 62	0,999 64	0,999 65	3,3
3,4	0,999 72	0,999 73	0,999 74	0,999 75	0,999 76	3,4
3,5	0,999 81	0,999 81	0,999 82	0,999 83	0,999 83	3,5
3,6	0,999 87	0,999 87	0,999 88	0,999 88	0,999 89	3,6
3,7	0,999 91	0,999 92	0,999 92	0,999 92	0,999 92	3,7
3,8	0,999 94	0,999 94	0,999 95	0,999 95	0,999 95	3,8
3,9	0,999 96	0,999 96	0,999 96	0,999 97	0,999 97	3,9

